

ローカル 5 G の社会実装加速化に向けた 共創プロジェクトの共同実証レポート

第 2.0 版

2026.3.27

ローカル 5 G 共創プロジェクト参加企業一同

注意事項

1. 本文書の著作権は合意締結証明発行日 2024 年 2 月 20 日における「ローカル 5 G 機器の相互接続・パラメータカスタマイズに関する共同実験協定書」を締結した企業が所有します。
2. 本文章のいかなる部分も、合意締結証明発行日 2024 年 2 月 20 日における「ローカル 5 G 機器の相互接続・パラメータカスタマイズに関する共同実験協定書」を締結した企業の許諾なしで、いかなる形・方法によっても、出版、翻訳、他のウェブサイトへの転載等を行うことはできません。

改版履歴

Version	日付	更新内容
1.0	2025/2/25	初版発行
2.0	2026/3/27	<p>■以下の記載内容を L5 G 共創プロジェクト全試験終了後の結果に更新。</p> <p>2.2 本文</p> <p>3.1.2 表 3-3、表 3-4</p> <p>3.1.6 本文、表 3-7、図 3-3</p> <p>3.1.7 本文</p> <p>3.2.5.1 本文、図 3-12</p> <p>3.2.5.2 図 3-13~図 3-32、表 3-12、表 3-13</p> <p>3.3.5 図 3-35</p> <p>■新規追加</p> <p>以下について新規作成。</p> <p>3.1.6 表 3-8</p> <p>3.2.6</p> <p>4 章追加</p> <p>6 章追加</p> <p>7 章本文</p>

目次

1. はじめに	1
2. ローカル5G共創プロジェクトについて	2
2.1. テーマ1概要（ローカル5G機器間の相互接続検証）	4
2.2. テーマ2概要（ローカル5Gマルチベンダー構成でのRIC試験）	5
2.3. テーマ3概要（ローカル5G利用環境のセキュリティ対策強化）	6
3. テーマ1（ローカル5G機器間の相互接続検証）	7
3.1. 相互接続検証	7
3.1.1. 試験構成	7
3.1.2. 試験機器一覧	9
3.1.3. 設定項目	12
3.1.4. 試験項目	13
3.1.5. 試験手順	13
3.1.6. 試験結果と考察	14
3.1.7. 相互接続において遵守すべき留意点と具体的な接続不可事例	17
3.2. スループット試験	25
3.2.1. 試験構成	25
3.2.2. 試験機器一覧	25
3.2.3. 試験項目	25
3.2.4. 試験手順	26
3.2.5. 試験結果と考察	27
3.2.6. 通信品質を高めるためのナレッジ	45
3.3. 4K動画伝送遅延試験結果	47
3.3.1. 試験構成	47
3.3.2. 試験機器一覧	48
3.3.3. 試験項目	48
3.3.4. 試験手順	49
3.3.5. 試験結果と考察	49
4. テーマ2（ローカル5Gマルチベンダー構成でのRIC試験）	51
4.1. rAppによるRANの送信電力最適化試験	51
4.1.1. 試験構成	52
4.1.2. 試験機器一覧	53
4.1.3. 試験項目	53
4.1.4. 試験シナリオ	54

4.1.5.	試験結果と考察.....	56
4.2.	xApp によるリソースブロック (RB) 最適化を活用したローカル 5 G 干渉軽減試験	60
4.2.1.	試験構成.....	61
4.2.2.	試験機器一覧	62
4.2.3.	試験項目.....	62
4.2.4.	試験シナリオ	62
4.2.5.	試験結果と考察.....	65
5.	テーマ 3 (ローカル 5 G 利用環境のセキュリティ対策強化)	67
5.1.	セキュリティ試験	67
5.1.1.	試験構成.....	67
5.1.2.	試験機器一覧	67
5.1.3.	試験項目.....	68
5.1.4.	セキュリティ脅威シナリオ	69
5.1.5.	試験結果と考察.....	70
5.1.6.	TMMNS 接続において遵守すべき留意点.....	71
6.	参加企業各社からのフィードバック	72
6.1.	テーマ 1 のフィードバック	72
6.2.	テーマ 2 のフィードバック	73
6.3.	テーマ 3 のフィードバック	75
6.4.	全体のフィードバック	77
7.	おわりに	79
8.	参考文献.....	80

1. はじめに

2023年11月、NTT東日本株式会社（以下NTT東日本）を発起人とし、国内外の通信機器ベンダーなど18社が参加する「ローカル5G共創プロジェクト（以下L5G共創PJ）」が始動した。本プロジェクトではローカル5Gのさらなる低廉化と利便性向上による普及・拡大を目的に、ローカル5G機器の相互接続検証やセキュリティ対策強化試験を進めており、2025年2月時点で、300を超える組み合わせでの共同試験を完了している。

ローカル5Gシステムを構成するベンダー機器は市中に様々存在し、それぞれ機能や性能、価格が異なる。ユーザーにローカル5Gシステムを提供する際には、ユーザー要件に応じて異なるベンダーのローカル5G機器を組み合わせることで、ユーザー要件に最適な提案となる可能性がある。一方、異なるベンダーのローカル5G機器を用いてローカル5Gシステムを構成する場合、機器間の設定パラメーターのチューニングや動作確認試験など、システム構築に伴うインテグレーションコストが同一ベンダーの機器構成に比べて高む場合が多く、結果として同一ベンダーの機器で構成されることが一般的となっている。しかし、同一ベンダーのローカル5G機器構成の場合、ユースケースによっては、過剰な機能や性能となる場合もあり、ローカル5Gシステムのさらなる低廉化に向けては、異なるベンダーによる相互接続時のインテグレーションコストを抑制し、ユースケースに応じた機器選択の幅を広げていくアプローチが有効と考えている。

本レポートでは、相互接続が成功しているベンダーの組み合わせや相互接続時の留意点を示すとともに、組み合わせによるスループットや遅延といった性能、市中のセキュリティソリューションの動作結果を公開する。システム構築時のインテグレーションを補助するデータとなっていると考えており、本レポートを活用することで、ベンダーの機器構成のシステムインテグレーションコスト抑制に繋がることを期待する。

本レポートが、ローカル5Gの社会実装の加速に寄与し、産業DXの促進・地域課題の解決に繋がることを期待する。

2. ローカル5G共創プロジェクトについて

本プロジェクトは3つのテーマに沿って、NTT東日本のNTTe-City Laboに試験機器を持ち込み、各社共同で試験を進めている。本章では各テーマの概要について説明する。参加企業は表2-1に示す26社であり、各企業の持ち込みローカル5G機器類は図の通りである。

表 2-1 プロジェクト参加企業一覧

項番	プロジェクト参加企業名
1	エアースパン・ジャパン(株)
2	アンリツ(株)
3	Askey Computer Corporation
4	Compal Electronics
5	CTOne Inc.
6	ディーリンク・ジャパン(株)
7	(株)FLARE SYSTEMS
8	日本ヒューレット・パッカード合同会社
9	HTC Corporation
10	ハイテクインター(株)
11	工業技術研究院
12	京セラ(株)
13	日本ライトン(株)
14	LITE-ON Technology Corporation
15	日本電気(株)
16	NEC マグナスコミュニケーションズ(株)
17	NTT 東日本(株)
18	ノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社
19	NTT テクノクロス(株)
20	パナソニックコネクタ(株)
21	ペガトロン・ジャパン(株)
22	Quanta Cloud Technology Incorporated
23	REIGN Technology Corporation
24	Saviah Technologies
25	住友電気工業(株)
26	トレンドマイクロ(株)

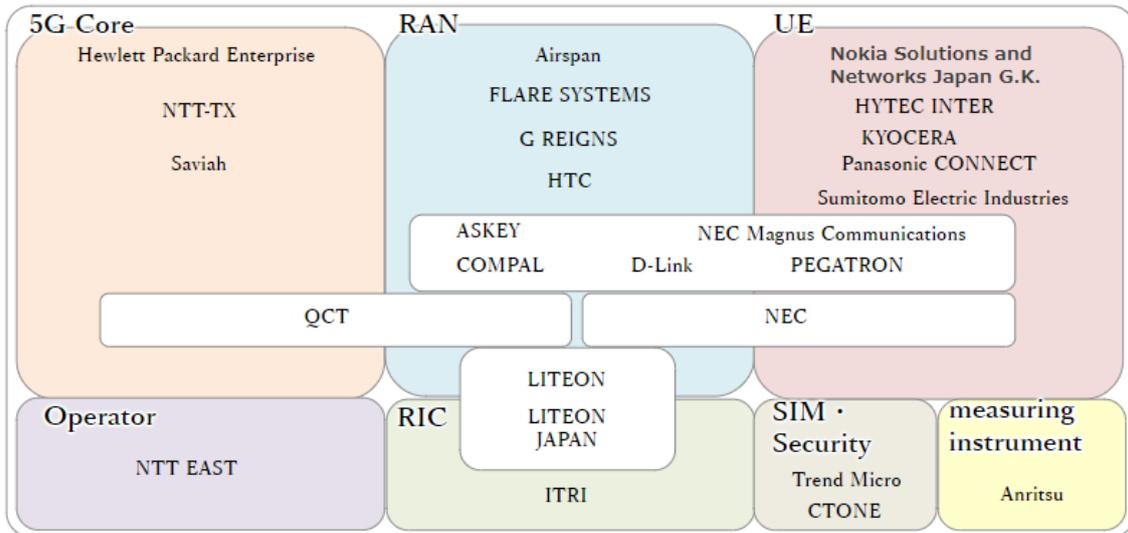


図 2-1 参加企業持ち込みローカル 5 G 機器類

2.1. テーマ1 概要（ローカル5G機器間の相互接続検証）

テーマ1では、異なるベンダーのローカル5G機器間の相互接続検証に取り組む。

ローカル5Gのシステム（端末の認証やネットワーク制御等を担う5GCore（5GC）、電波等の無線制御を行う基地局（RAN））に用いられる機器、ユーザー端末（UE）を異なるベンダーのローカル5G機器で構築する場合、ローカル5G機器間の設定パラメーターのチューニングや動作確認試験など、システム構築に伴うインテグレーションコストが同一ベンダーのローカル5G機器構成に比べて嵩む場合が多く、結果として同一ベンダーのローカル5G機器で構成されることが一般的となっている。

しかし、同一ベンダーのローカル5G機器構成の場合、ユースケースによっては、過剰な機能や性能となる場合もあり、ローカル5Gシステムのさらなる低廉化に向けては、複数ベンダーによる相互接続時のインテグレーションコストを抑制し、ユースケースに応じたローカル5G機器選択の幅を広げていくアプローチが有効と考えている。

そのためテーマ1では、接続成功パターンでの通信性能や、高精細映像伝送等のユースケースで通信品質を評価する。加えて、接続不可となった場合の事例をとりまとめ、相互接続時の留意点を明らかにする。

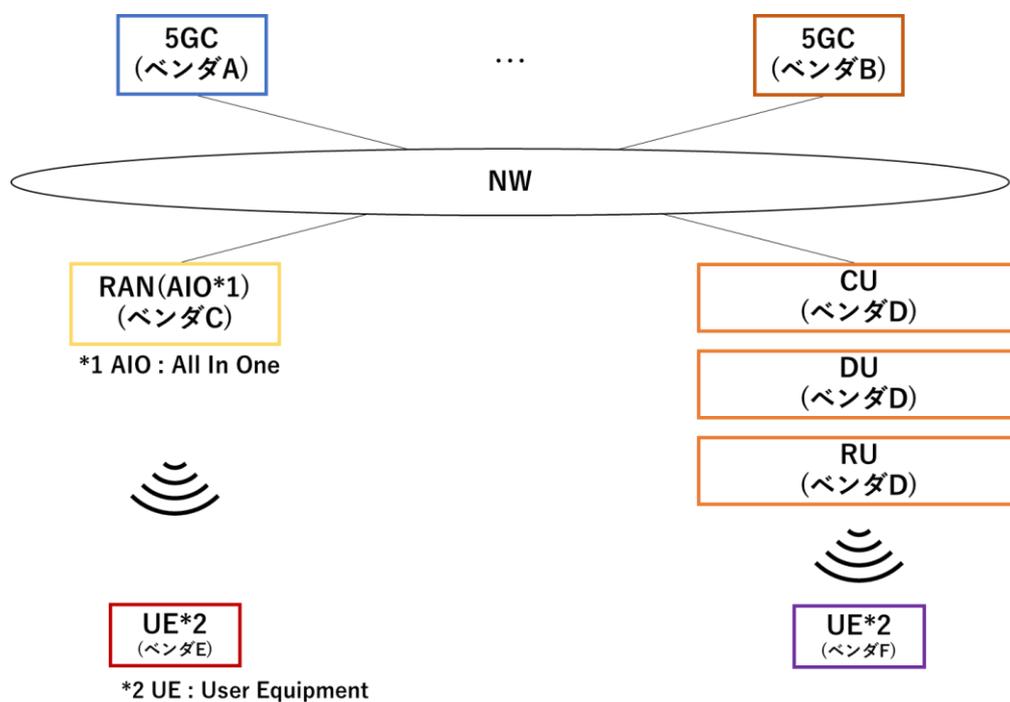


図 2-2 テーマ1 の概要

2.2. テーマ 2 概要（ローカル 5 G マルチベンダー構成での RIC 試験）

テーマ 2 では、ユースケースに応じたローカル 5 G マルチベンダー構成での RIC 試験に取り組む。

ローカル 5 G は産業用途で幅広く導入されており、多様なユースケースに対応する必要がある。例えば、工場や物流倉庫、屋外広域エリアの点検などの環境では、ローカル 5 G 機器の設置位置変更や端末の接続先基地局の変更（ハンドオーバー）時には、高品質なサービスを維持、提供し続けるためにパラメーターを都度検討し手動で調整しなければならない。このため、自律的かつ自動的にパラメーターを制御する仕組みの実現が期待されている。

以上の課題を踏まえ、テーマ 2 では、省電力化や周波数干渉下でのパフォーマンス向上など多様なユースケースに対応した高品質なローカル 5 G 環境の提供を目的に、O-RAN ALLIANCE が規定する RAN Intelligent Controller（以下、RIC）を活用する。RIC によるパラメーターの動的最適化について試験するとともに、異なるベンダー機器間の相互接続性を確認し、高品質なローカル 5 G 通信を継続的に提供する仕組みの実現を目指す。

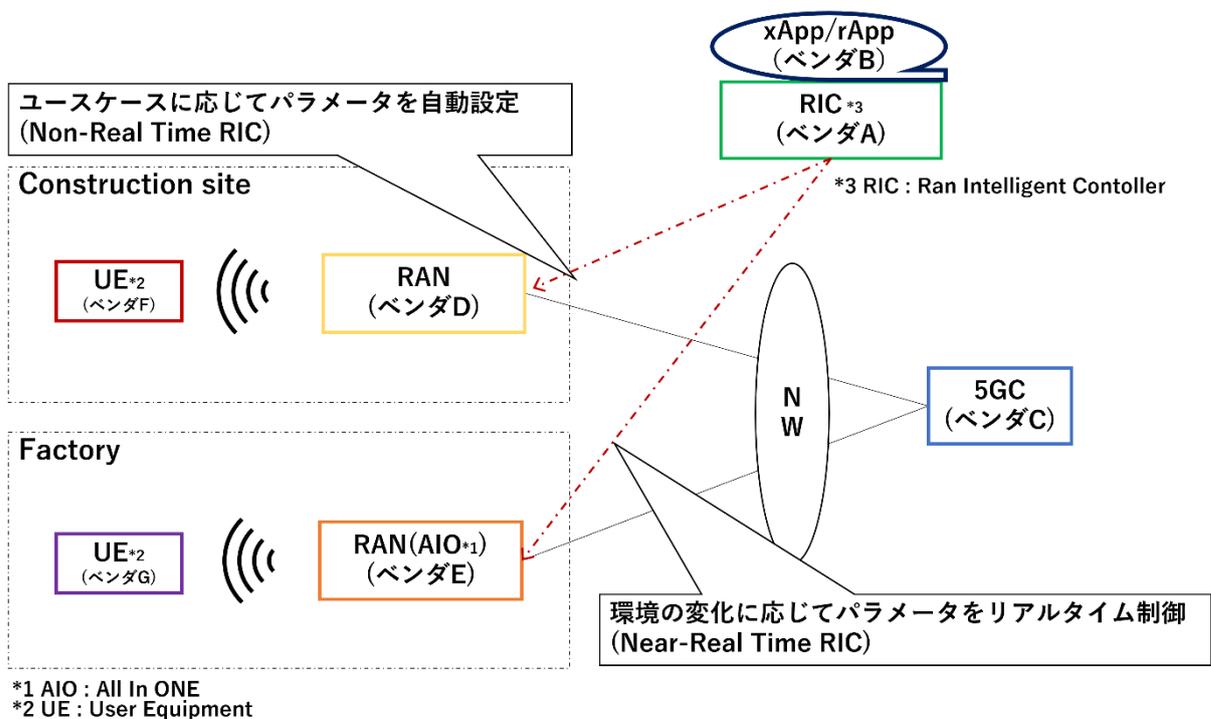


図 2-3 テーマ 2 の概要

2.3. テーマ 3 概要（ローカル 5 G 利用環境のセキュリティ対策強化）

テーマ 3 では、ローカル 5 G 利用環境のセキュリティ対策強化に取り組む。なお、本テーマはプロジェクト立ち上げ以降にプロジェクトメンバー間の議論を踏まえ立ち上げた新テーマである。

ローカル 5 G では厳密な加入者管理や SIM による強固な鍵管理などセキュリティ強化が期待できる一方で、IoT デバイス等従来のセキュリティ対策として一般的なエージェント型のエンドポイントセキュリティを適用できない端末が多く存在する。

また、工場や医療現場に代表される環境では、古いデバイスの継続利用が必要で、OS や関連ソフトウェアのバージョンアップが難しく、脆弱性を含んだままデバイスを運用せざるを得ないケースもある。

完全閉域やデバイスの持ち込みや持ち出しを全く許さないネットワークであれば、そのような端末やデバイスの利用であっても問題を起こさなかったが、IoT 化やスマート化により外部ネットワークと接続する機会が増えることで、十分なセキュリティ対策ができていない端末やデバイスが脅威にさらされることが懸念される。

そのためテーマ 3 では、市中のセキュリティソリューションとしてトレンドマイクロ社および CTOne 社が提供する TMMNS ソリューションを活用したセキュリティ SIM カードとネットワークセキュリティ機能の連携により、異なるローカル 5 G 機器利用環境でのセキュリティ対策強化をめざす。

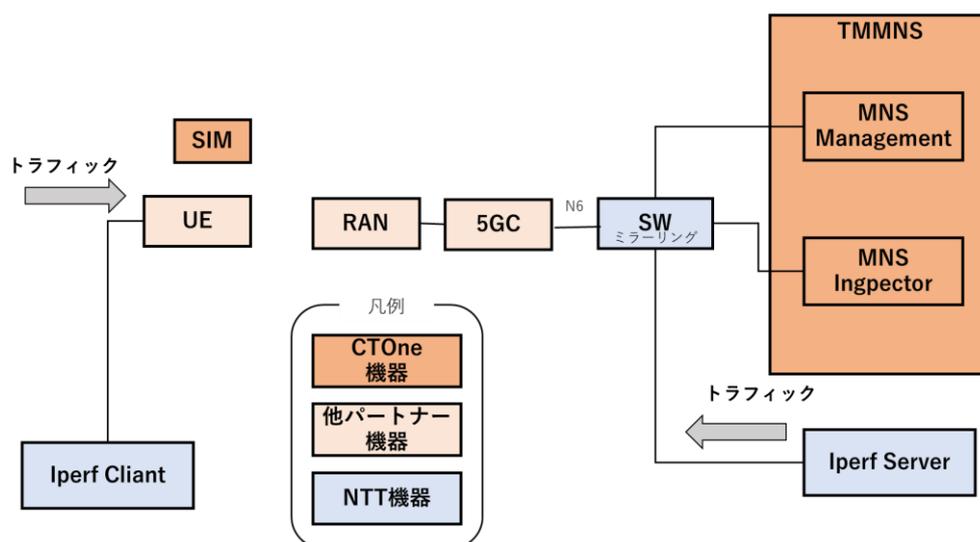


図 2-4 テーマ 3 の概要

3. テーマ 1 (ローカル 5 G 機器間の相互接続検証)

テーマ 1 では、異なるベンダーのローカル 5 G 機器間の相互接続検証を行う。具体的な試験内容を表 3-1 に示す。

表 3-1 テーマ 1 試験内容

項番	試験内容
3.1 相互接続検証	<ul style="list-style-type: none">相互接続可、不可の評価相互接続不可となった組み合わせの事例を通して、相互接続における知見をまとめる
3.2 スループット試験	<ul style="list-style-type: none">相互接続成功となった組み合わせでの通信品質の評価
3.3 4K 動画伝送遅延試験	<ul style="list-style-type: none">具体的なユースケースでの通信品質として、4K 映像伝送時の遅延特性の評価

3.1. 相互接続検証

3.1.1. 試験構成

本試験構成を図および図に示す。RAN と UE はシールドボックスもしくはシールドドテント内に配備する。

UE 接続完了後のデータ通信は、UE 本体もしくは、UE 配下に接続した Client PC と、N6 設置の N6 Server の間で行う。

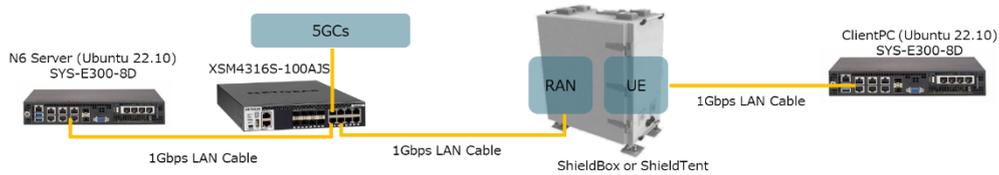


図 3-1 相互接続検証構成

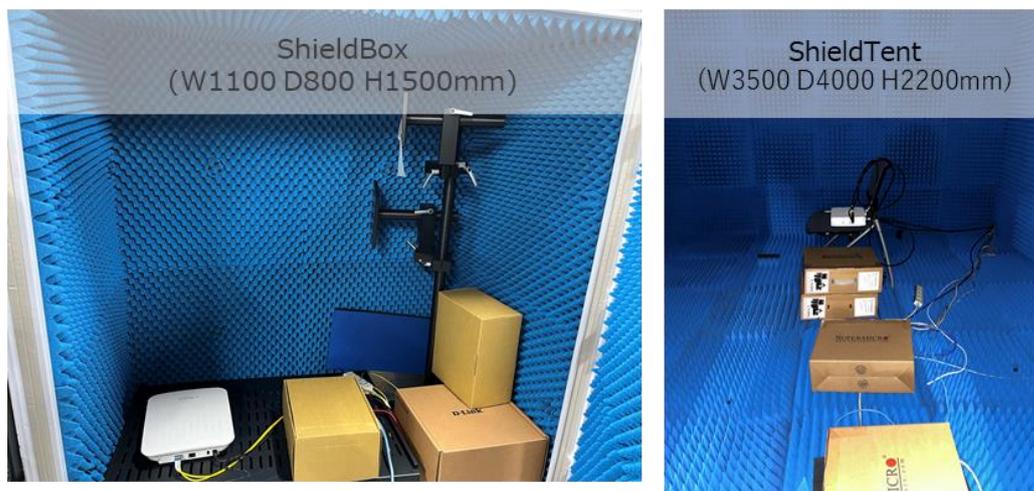


図 3-2 シールドボックスおよびシールドテント

環境差分による試験結果影響を抑えるため、UE の RSRP 値が約-70dBm となるように RAN の出力値や UE の設置場所を調整した。使用するシールドボックスとシールドテントのサイズと効果電界を表 3-2 に示す。

表 3-2 シールドボックス、シールドテント仕様

品名	サイズ(W×D×H) [mm]
シールドボックス	1,100×800×1,500
シールドテント	3,500×4,000×2,200

3.1.2. 試験機器一覧

本試験で使用したローカル 5 G 機器品名および型番を表 3-3 に、ローカル 5 G 機器仕様を表 3-4 にそれぞれ示す。

表 3-3 相互接続検証で使用したローカル 5 G 機器品名および型番

ベンダー	略称	区分	品名/型番
日本ヒューレット・パッカード合同会社	HPE	5GC	HPE Aruba Networking Private 5GCore
NTT テクノクロス(株)	NTT-TX	5GC	-
Quanta Cloud Technology Incorporated	QCT	5GC	OmniCore
Saviah Technologies	Saviah	5GC	-
エアースパン・ジャパン(株)	Airspan	RAN	Airspeed 1900
Askey Computer Corporation	Askey	RAN	NR xCell 80156C
Compal Electronics	Compal	RAN	Integrated Small Cell "Cedar"
(株)FLARE SYSTEMS	FLARE SYSTEMS	RAN	-
HTC Corporation REIGN Technology Corporation	HTC G REIGNS	RAN	HPFG-0-0101
LITE-ON Technology Corporation	LITE-ON	RAN	FlexFi 5 G Small cell ORAN- RU/FF-RFI079I04
日本電気(株)	NEC	RAN	RV1200
NEC マグナスコミュニケーションズ(株)	NEC Magnus	RAN	FB2000SS
ペガトロン・ジャパン(株)	Pegatron	RAN	5 G ORAN Station/PG5200, Indoor RU 4T4R
Quanta Cloud Technology Incorporated	QCT	RAN	OmniRAN
Askey Computer Corporation	Askey	UE	NUQ3000M
Compal Electronics	Compal	UE	RAKU/91ZX533007A
ディーリンク・ジャパン(株)	D-Link	UE	DWP-1010W
ハイテックインター(株)	HYTECINTER	UE	HW 5 G-3100-SSD
日本電気(株)	NEC	UE	VersaPro/VJV50G-B
NEC マグナスコミュニケーションズ(株)	NEC Magnus	UE	FG900CS
ノキアソリューションズ&ネットワークス合 同会社	Nokia	UE	Industrial 5 G Fieldrouter FRRO501c
パナソニック コネクスト(株)	PCO	UE	XC-WN930J-01
ペガトロン・ジャパン(株)	Pegatron	UE	Raptor V2/MG54AX
京セラ(株)	KYOCERA(A)	UE	K5GC-100A
京セラ(株)	KYOCERA(B)	UE	DIGNO® SX4
京セラ(株)	KYOCERA(C)	UE	DuraForce EX
京セラ(株)	KYOCERA(D)	UE	DIGNO® Tab2 5 G
住友電気工業(株)	SEI	UE	産業用 5 G 端末/IGW5111

表 3-4 相互接続検証でを使用したローカル 5 G 機器仕様

略称	区分	3GPP Rel Ver	搭載 CPU/SoC,モデム	レイヤ (UL×DL)	最大 QAM UL	最大 QAM DL
HPE	5GC	Release16	非公開	-	-	-
NTT-TX	5GC	Release16	Intel based CPU	-	-	-
QCT	5GC	Release15	Intel based CPU	-	-	-
Saviah	5GC	Release16	非公開	-	-	-
Airspan	RAN	Release15	非公開	非公開	非公開	非公開
Askey	RAN	Release15	FSM10056	2×2	256	256
Compal	RAN	Release16	NXP LX2160A NXP LA1238	2×4	256	256
FLARE SYSTEMS	RAN	Release17	非公開	2×4	256	256
HTC G REIGNS	RAN	Release15	Intel based CPU	2×4	64	64
LITE-ON	RAN	Release15	NXP LX2160	2×4	64	256
NEC	RAN	Release15	非公開	非公開	非公開	非公開
NEC Magnus	RAN	非公開	Intel Icelake + FPGA	2×4	256	256
Pegatron	RAN	Release15	Intel Icelake + FPGA(BBU) Intel Arria 10 FPGA(RU)	2×4	非公開	非公開
QCT	RAN	Release15	Intel based CPU	2×4	64	256
Askey	UE	Release16	Snapdragon X65 5 G Modem-RF System	2×4	256	256
Compal	UE	Release15	Snapdragon X55 5 G Modem-RF System	2×4	256	256
D-Link	UE	非公開	非公開	非公開	非公開	非公開
HYTECINTER	UE	Release16	Snapdragon X55 5 G Modem-RF System	2×4	256	256
NEC	UE	非公開	非公開	非公開	非公開	非公開
NEC Magnus	UE	非公開	Snapdragon X55 5 G Modem-RF System	2×4	256	256
Nokia	UE	Release15	Qualcomm IPQ6010 Quectel RM505Q-AE with SDX55	非公開	非公開	非公開
PCO	UE	Release15	非公開	1×4	64	256
Pegatron	UE	Release16	Snapdragon X62 RM520N-GL	非公開	非公開	非公開
KYOCERA(A)	UE	Release15	Snapdragon X55 5 G Modem-RF System	2×4	256	256
KYOCERA(B)	UE	Release 16	MediaTek Dimensity®6100 +	1×4	256	256
KYOCERA(C)	UE	Release 15	MediaTek Dimensity® 700	1×4	256	256
KYOCERA(D)	UE	Release 16	MediaTek	1×4	256	256

			Dimensity®6100+			
SEI	UE	Release16	Snapdragon X65 5 G Modem-RF System	2×4	256	256

3.1.3. 設定項目

相互接続検証における、各ローカル5G機器（ノード）に必要な設定項目を表3-5に示す。本プロジェクトでは、各ローカル5G機器に統一された設定値を設定し、条件を揃えた上で試験を実施した。

表 3-5 設定項目一覧

設定項目	ノード毎設定項目	設定値様式	5GC	RAN (AIO)	RAN (CU)	RAN (DU)	RAN (RU)	UE
IP Address	5GC N2 IP address	-	○	-	-	-	-	-
	5GC N3 IP address	-	○	-	-	-	-	-
	5GC N4 IP address	-	○	-	-	-	-	-
	5GC N6 IP address	-	○	-	-	-	-	-
	RAN CU IP address	-	-	○	○	-	-	-
	RAN DU IP address	-	-	○	-	○	-	-
	RAN RU IP address	-	-	○	-	-	○	-
	5GC Management IP address	-	○	-	-	-	-	-
	RAN Management IP address		-	○	○	○	○	-
	UE Management IP address		-	-	-	-	-	○
VLAN	N2 VLAN	-	○	○	○	-	-	-
	N3 VLAN	-	○	○	-	○	-	-
RAN SW Mode	-	-	○	-	-	-	-	
UE Pool IP Address	-	-	○	-	-	-	-	
PLMN	-	数字 6 桁	○	○	○	-	-	-
TAC/TAI	-	数字 6 桁	○	○	-	○	-	-
SST	-	数字 2 桁	○	○	-	○	-	--
SD	-	数字 1 桁~4 桁	○	○	-	○	-	-
DNN	-	任意の文字列	○	○	○	-	-	○
5QI	-	数字 1~3 桁	○	○	○	-	-	-
gNB-ID-Length	-	任意の数字	○	○	○	-	-	-
gNB-ID	-	16 進数 6 桁	○	○	-	○	-	-

3.1.4. 試験項目

本試験の試験項目を表 3-6 に示す。

表 3-6 相互接続検証項目

項番	試験項目	試験目的	試験合格基準
1	Registration・PDU プロシージャ確認	平時における UE の接続動作確認を行う。	5GC, RAN 起動後に UE を起動する。Registration の完了および PDU Session が確立できること。
2	ICall test	平時における UE のデータ通信確認を行う。	PDU Session 確立後、N6 設置のサーバに ping が可能であること。
3	RF Power OFF/ON	RAN の停止を想定し、RAN 起動後に UE が接続完了しデータ通信が可能であることの確認を行う。	PDU Session 確立後、RAN を停波する。RAN を再び開波した時に UE が PDU Session を確立できること。
4	UE Power OFF/ON	ユーザーによる UE の電源 OFF/ON 操作を想定し、UE 起動後に接続完了およびデータ通信が可能であることの確認を行う。	PDU Session 確立後、UE の電源を OFF にする。再び UE の電源を ON にした時に UE が PDU Session を確立できること。
5	Airplane mode OFF/ON	ユーザーによる UE の機内モード ON/OFF 操作を想定し、機内モード解除後に UE が接続完了しデータ通信が可能であることの確認を行う。	PDU Session 確立後、UE の機内モードを有効にする。機内モードを解除した時に UE が PDU Session を確立できること。

3.1.5. 試験手順

本試験では、下記 1～5 に示す 3GPP 規約[1][2]の信号に基づいて相互接続性およびデータ通信が可能であるか確認する。いずれの信号もパケットキャプチャを用いて確認する。

1. Registration・PDU プロシージャ確認
2. UE 接続後のデータ通信可否確認
3. RAN 停止起動後の 5GC と UE の接続可否およびプロシージャ確認
4. UE 停止起動後の接続可否およびプロシージャ確認
5. UE 機内モード解除後の接続可否およびプロシージャ確認

試験の中で接続不可、もしくは 3GPP 規約外の信号が確認された際は、各社連携し原因解析および改善に取り組み、試験期間内に原因の特定に至らなかった場合は今後再試験を実施予定である。なお、本ステータスとなったローカル 5 G 機器の組み合わせ毎の原因解析情報は本レポートでは非開示とする。

3.1.6. 試験結果と考察

本試験で相互接続可能と確認できた組み合わせを表 3-7 に示す。「OK」表記の UE が全試験項目で合格した UE となる。住友電工(SEI)製 UE については、本プロジェクトに途中参加したため、一部組み合わせにおいては試験未実施となっている。

NEC 社製 UE は 2025 年 1 月をもって製品のサポートが終了 (End of Life) したため、以降の試験において当該 UE を試験の対象外とした。

2025 年 10 月から、京セラ社製 UE を 3 機種追加し相互接続検証を実施した。京セラ社製 UE は合計 4 機種となるため、本書では UE の略称を KYOCERA (A), (B), (C), (D) として表現する。正式な製品名称は表を確認していただきたい。KYOCERA (B), (C), (D)を使用した試験では、5GC、RAN 各社のマシン使用の調整が困難となり全ての組み合わせでの接続試験実施には至らなかったため、試験の実施が完了した組み合わせの結果を表 3-8 に示す。

表 3-7 相互接続検証結果

5GC	RAN	UE										
		Askey	Compal	D-Link	HYT ECI NTE R	NEC	NEC Magnus	Nokia	PCO	Pegatron	KYOCERA(A)	SEI
HPE	Askey	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
HPE	LITE-ON	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
NTT-TX	Askey	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
NTT-TX	LITE-ON	OK	OK	OK*2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
HPE	NEC	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
NTT-TX	NEC Magnus	OK*2	OK	OK	OK*2	OK	OK	OK	OK	OK*2	OK	-
NTT-TX	Airspan	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
Saviah	Pegatron	OK*2	OK	OK*2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
HPE	Compal	*1	OK	OK	OK	OK	OK	*1	OK	OK	OK	-
Saviah	Airspan	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
Saviah	HTC G REIGNS	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
HPE	NEC Magnus	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Saviah	FLARESYS	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

	TEMS											
HPE	HTC G REIGNS	OK										
NTT- TX	FLARESYS TEMS	OK										
HPE	Pegatron	OK										
QCT	FLARESYS TEMS	OK	OK	*1	OK	*1	OK	*1	OK	OK	OK	OK
QCT	Airspan	OK										
Saviah	NEC	OK										
QCT	Askey	OK										
NTT- TX	HTC G REIGNS	OK										
QCT	NEC Magnus	OK										
NTT- TX	Pegatron	OK										
QCT	NEC	OK										
Saviah	QCT	OK										
Saviah	LITE-ON	OK	*3	OK								
Saviah	Compal	OK	*3	OK								
NTT- TX	Compal	OK	*3	OK								
Saviah	NEC Magnus	OK	*3	OK								

*1 表 3-9 に示す接続不可事象のいずれかの理由で接続不可もしくは再試験予定の組み合わせ。組み合わせ毎の原因解析情報は本レポートでは非開示とする。

*2 共同実証レポート第 1 版で接続不可であったが、再試験により接続可能となった組み合わせ。

*3 製品サポート終了により、試験対象から除外。

表 3-8 追加 UE(京セラ社製)の相互接続検証結果

5GC	RAN	UE		
		KYOCERA (B)	KYOCERA (C)	KYOCERA (D)
NTT-TX	Askey	OK	OK	OK
NTT-TX	Compal	OK	OK	OK
NTT-TX	HTC	OK	OK	OK
NTT-TX	LITE-ON	OK	OK	OK
NTT-TX	NEC Magnus	OK	OK	OK
Saviah	Askey	OK	OK	OK
Saviah	Compal	OK	OK	OK

Saviah	HTC	OK	OK	OK
Saviah	LITE-ON	OK	OK	OK
Saviah	NEC Magnus	OK	OK	OK

図 3-1 に 2025 年 10 月に完了した全 335 組み合わせの結果を示す。接続可能な組み合わせは 330 件、割合にして 98.5%が相互接続検証合格となった。

接続不可となった組み合わせ 11 件の内訳を表 3-9 に示す。内 6 件は原因を特定し問題解決しており、内 5 件については現在も原因調査中である。

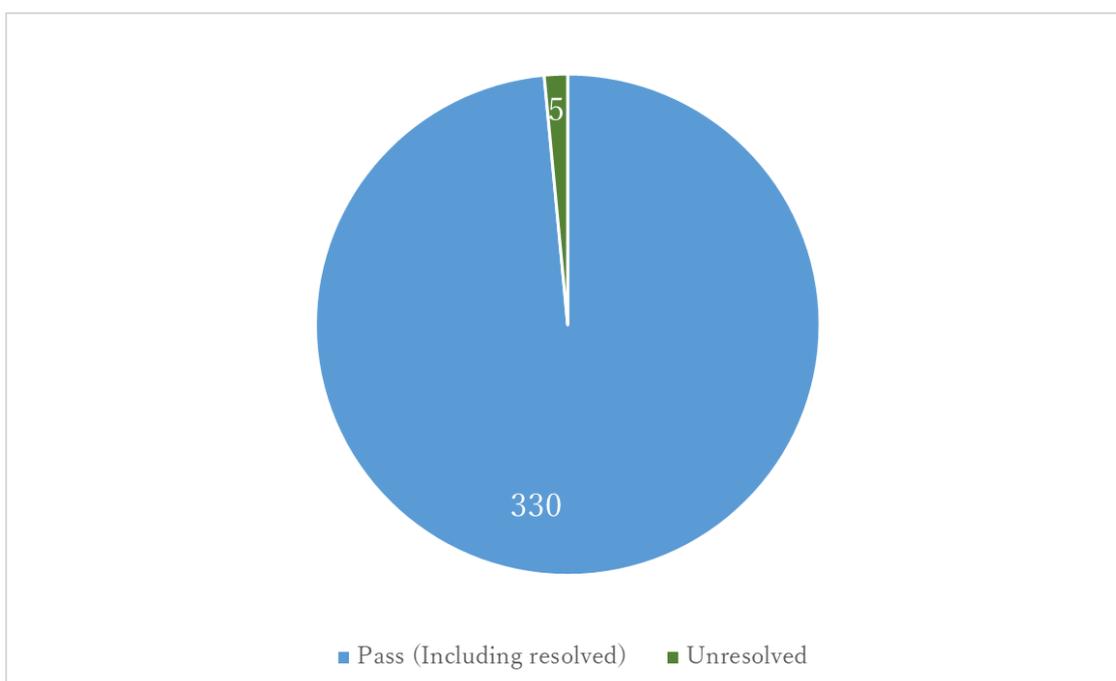


図 3-1 相互接続検証結果

表 3-9 相互接続検証不可事象

対応状況	発生件数 (11 件)	事象
解決済み	5 件	Registration プロシージャが完了しない事象
	1 件	再接続後に PDU セッションの解放と接続を繰り返す事象
未解決	1 件	PDU セッション確立に失敗する事象
	2 件	PDU セッション確立後にデータ通信 NG となる事象
	1 件	RAN の停波→開波後に PDU セッションが確立できない事象。ただし、UE の再起動等で接続可能
	1 件	UE 再起動後の Registration に失敗する事象

3.1.7. 相互接続において遵守すべき留意点と具体的な接続不可事例

本試験で使用したローカル 5 G 機器は 3GPP 規約に則り開発されており、規格外の信号のやり取り等は確認されていない。一方で、98.5%の割合で接続成功しているものの、一部の組み合わせにおいては始め接続不可だったが、切り分けすることで接続可能となったケースもある。それらの切り分けを通し、相互接続において遵守すべき留意点を表 3-10 の通りまとめた。加えて、本項で具体的な接続不可事例を紹介する。

表 3-10 相互接続において遵守すべき留意点

対象ローカル 5 G 機器			遵守すべき留意点
5GC	RAN	UE	
-	✓	✓	RAN において UE が送信する、UE Capability Information パケットの許容可能なサイズが異なるため、UE の送信パケットサイズに対して RAN が処理可能であるか確認すること。
✓	✓	✓	ローカル 5 G 機器が送受信する非対応の信号内メッセージによる不整合を避けるため、5GC,RAN,UE がサポートする 3GPP リリースのバージョンに留意すること。
✓	✓	-	UE によっては VoIP の APN 情報を保持しているものがあり、5GC で APN を許容するように設定すること。
✓	-	✓	構築時には VLAN の設定の要否を確認し、適切な VLAN 設定を実施すること。 (N2 および N3 のセグメント設定)
✓	✓	-	DNN の 5QI 値については 5GC と RAN が互いにサポートする値にすること。

・事例 1 : UE Capability Information 信号を RAN ノードが破棄することによる接続不可事例

特定の 5GC と RAN の組み合わせで在圏できない UE が存在したが、試験中に取得した N2 パケットキャプチャと RAN ログ解析により原因を特定し、RAN のソフトウェア改修により問題動作の解決に至った。

図 3-2 は動作発生時に取得したパケットキャプチャの抜粋である。

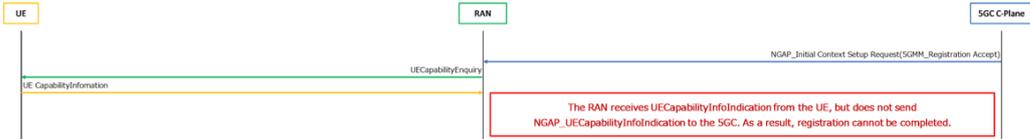


図 3-2 事例 1 概要

3GPP 規約では、RAN が 5GC からの 5 GMM_Registration Accept を受信すると NGAP_UECapabilityInfoIndication を 5GC 宛てに返却するが、RAN は信号を返却していなかった。

当該動作発生中の RAN システムログの解析により、UE から受信した UE Capability Information の処理に失敗しこれを破棄していたことが判明した。

UE Capability Information には UE のサポートする技術情報やプロトコル情報、セキュリティやその他ネットワーク機能の情報が含まれているが、問題動作が発生した UE はこれらの情報が多くパケットのサイズが大きくなり、RAN で処理できなくなっていたことが判明した。

そのため、本プロジェクトでは RAN の内部処理の不具合によるものと位置づけ、ローカル 5 G 機器の組み合わせにより発生した問題動作ではないと判断した。RAN ベンダーによるソフトウェア改修が行われ、問題動作の解消を確認した。以降は同事象、類似事象の発生は確認されていない。

・事例 2：サポートする 3GPP Release バージョンの相違による接続失敗事例

特定の 5GC と RAN の組み合わせで在圏できない UE が存在した。問題動作発生時に取得したローカル 5G 機器間の信号のやり取りを図 3-3 に示す。

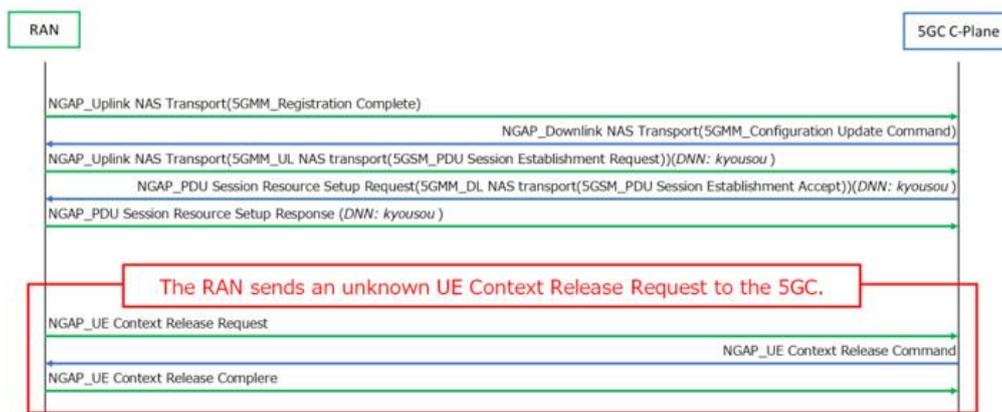


図 3-3 事例 2 概要

PDU セッションが確立した直後に、RAN 側から 5GC 宛てに不明な NGAP UE Context Release Request が送信されていた。UE からの NGAP_PDU Session Establishment Request 信号の解析と、RAN のシステムログの解析から、問題動作が発生していた UE からの信号には 3GPP Release16[3]のメッセージが含まれており、加えて使用している RAN が 3GPP Release16 に未対応であることが判明した。

RAN ベンダーによるソフトウェア改修により、信号内の Release16 のメッセージ処理をスキップするようにしたところ、問題動作が解決した。以降は類似事象を含め、問題動作は確認されていない。

・事例3：音声系 APN の接続拒否による接続失敗事例

特定の 5GC と RAN の組み合わせで在圏できない UE が存在した。問題動作発生時のパケット解析により原因の特定と問題の解決に至った。問題動作発生時のパケットの抜粋を図 3-4 に示す。

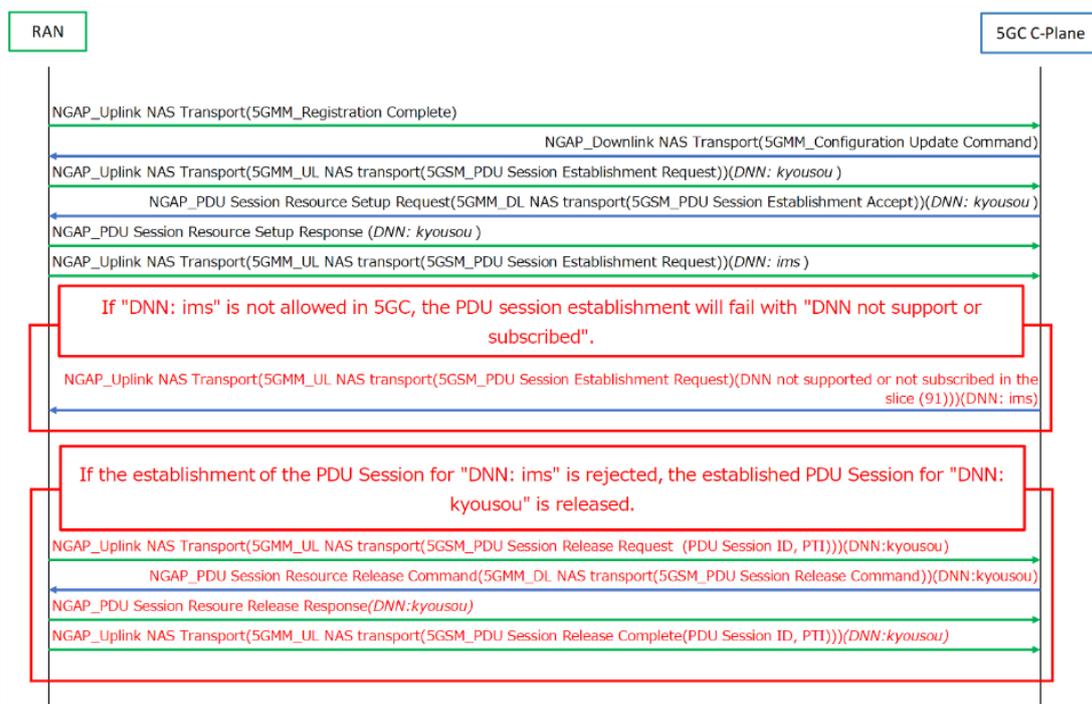


図 3-4 事例3 概要

本プロジェクトでは”kyousou”という DNN を用いて接続試験を実施しているが、これに加えて”ims”という DNN でも PDU セッションを確立しようとする UE が存在した。

5GC には”ims”という DNN の設定がされていなかったため、ims の PDU セッション確立要求に対して 5GC は PDU Session Release Command を送信し接続確立を拒否した。その後、ims 用の PDU セッション確立が失敗すると、成功しているデータ用の PDU セッションの接続も切断してしまう UE があった。

3GPP 規約では IMS_VoPS を 5GC がサポートしている状態で内部に ims の DNN を持つ UE が PDU セッションを確立することで発生する。

5 GMM_Registration_Accept 信号例[4]を図 3-5 に示す。

```
5GS network feature support
Element ID: 0x21
Length: 1
0... .. = MPS indicator (MPSI): Access identity 1 not valid in RPLMN or equivalent PLMN
..0.. .. = Interworking without N26 (IMK N26): Not supported
..00 .. = Emergency service fallback indicator (EMF): Emergency services fallback not supported (0)
.... 00.. = Emergency service support indicator (EMC): Emergency services not supported (0)
.... ..0. = IMS voice over PS session over non-3GPP access indicator (IMS-VoPS-N3GPP): Not supported
.... ...1 = IMS voice over PS session indicator (IMS VoPS): Supported
```

図 3-5 IMS_VoPS をサポートする 5GC の NGAP Registration Accept 信号例

ここで IMS VoPS のビットが立つと、内部に ims をもつ UE は kyousou と ims の DNN で PDU セッション確立を要求する。ビットを立てなければ、UE は ims でのセッション確立を行わない。

ims DNN による接続確立の失敗は、5GC 設定で ims DNN の許容設定もしくは、5GC が IMS_VoPS をサポートしないことで回避可能である。

・事例4：ローカル5Gネットワーク設定誤りによる接続失敗事例

特定の5GCとRANの組み合わせにおいて全てのUEが在圏できない、もしくは在圏できたとしても即切断してしまう問題が発生したが、試験中に取得したN2,N3の packet キャプチャとRANのネットワークモニタリングにより原因を特定し、ネットワークスイッチの設定変更を行うことで阻害要因を解決できた。

問題発生時に取得した packet キャプチャの抜粋を図3-6に示す。Registration完了直後に、5GCからPDU Session Establishment Rejectが返却されていることを確認した。

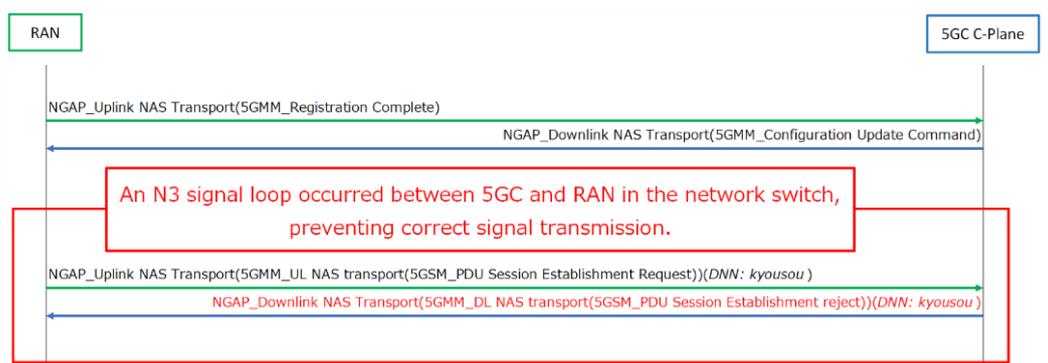


図3-6 事例4概要

packet キャプチャの情報を元に5GC、RANのシステムログやpacketモニタリングでpacketの流れを確認したところ、5GCのN3ポートから送信されたpacketがRANのN2ポートに到達している等、packetが正しいポートに到達していないことが判明した。

問題発生した5GCとRANは動作環境においてネットワークスイッチにVLAN設定必須となっており、VLANの設定は実施していたものの設定ミスによりpacketの混線が発生していた。

動作要件にVLANが含まれているローカル5G機器の導入においては、ネットワーク図を各社と意識合わせしながら作成し、設定ミスが発生しないように試験環境を検討・構築する必要がある。

・事例5：5GC と RAN がサポートする 5QI の相違による接続失敗事例

特定の 5GC と RAN の組み合わせで在圏できない UE が存在したが、試験中に取得した N2 パケットキャプチャと RAN 仕様との突合により問題発生原因を特定し解決した。動作発生時に取得したパケットキャプチャの抜粋を図 3-7 に示す。

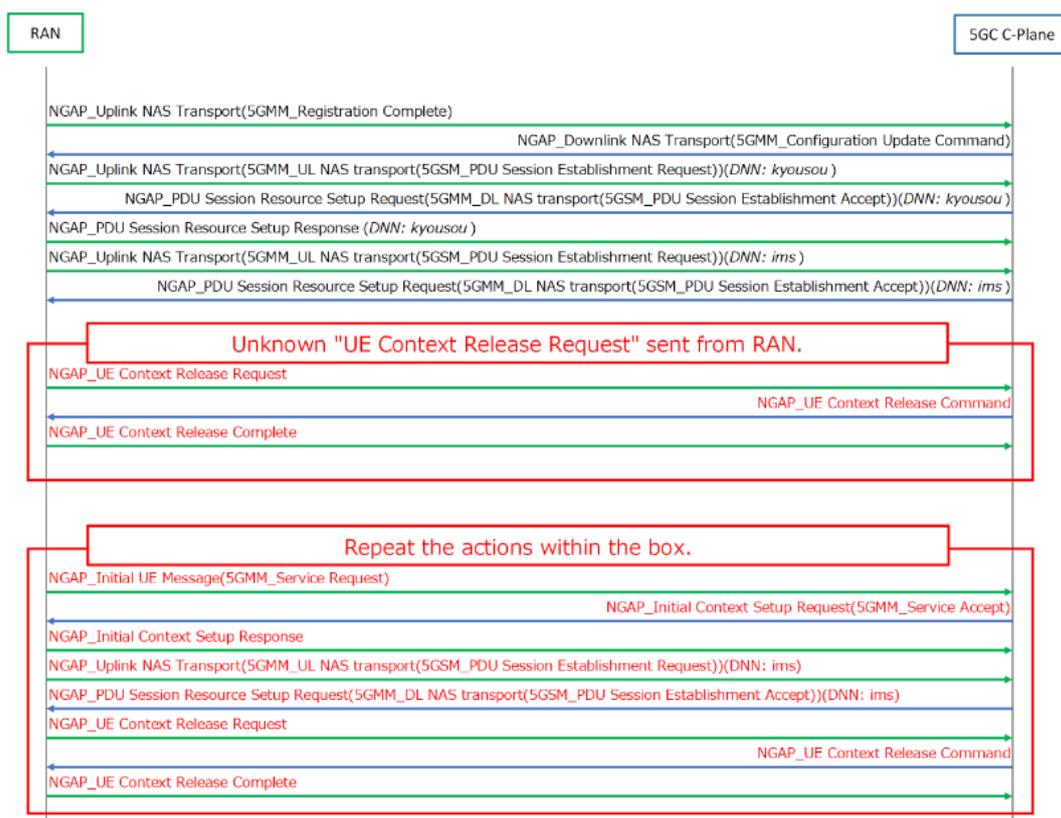


図 3-7 事例 5 概要

ims DNN の PDU セッションを確立する際に、RAN が不明な UE Context Release Command を 5GC 宛てに送信していた。解析の結果、ims DNN に対する 5GC の NGAP_PDU Session Establishment Accept 信号内の 5QI パラメーターが「4」であり、このパラメーターは RAN では許容していないパラメーターであることが判明した。

図 3-8 は問題発生の起因となった PDU Session Establishment Accept 信号[4]内の 5QI パラメーターである。なお、当プロジェクトでは ims DNN の PDU セッション確立時に問題動作が発生したが、当該 DNN に限定して発生する動作ではない。

```
-----  
v QoS flow description 1 - 5QI - GFBR uplink - GFBR downlink - MFBR uplink - MFBR downlink  
..00 0001 = Qos flow identifier: 1  
001. .... = Operation code: Create new QoS flow description (1)  
.1.. .... = E bit: 1  
..00 0101 = Number of parameters: 5  
v Parameter 1  
Parameter identifier: 5QI (1)  
Length: 1  
5QI: 4
```

図 3-8 5QI=4 の時の PDU Session Establishment Accept 信号例

5GC 側で ims DNN の 5QI パラメーターを RAN が許容している値に変更したところ、問題動作が解決し、以降の発生は確認されていない。相互接続検証や、商用利用時における 5GC と RAN の組み合わせにおいては、5QI のサポート情報を確認のうえ、適切な設定が必要である。

3.2. スループット試験

3.2.1. 試験構成

本試験構成を図 3-9 に示す。RAN と UE はシールドボックスもしくはシールドテント内に配備する。相互接続検証時と同様に、環境差分による試験結果影響を抑えるため、UE の RSRP 値が約-70dBm となるように RAN の出力値や UE の設置場所を調整した。シールドボックスとシールドテントの情報は表 3-2 に示す情報と同様のため、本項では割愛する。

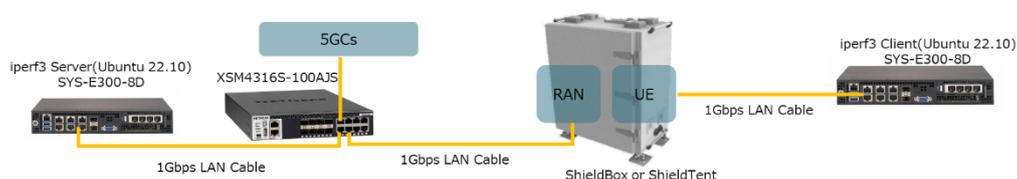


図 3-9 スループット試験構成

3.2.2. 試験機器一覧

本試験の試験機器品名および試験機器仕様は表 3-3 に示す情報と同様のため本項では割愛する。

3.2.3. 試験項目

スループット測定的项目を表 3-11 へ示す。

相互接続可能な組み合わせにおける伝送スループットについて、同期(TDD)および準同期(TDD1)における UDP と TCP それぞれの UL/DL のスループットを測定する。

また、RAN の動作設定を準同期(TDD1)とした際のスループットが、設定に準じた速度であることを確認する。

試験で使用するツールは iperf3 を採用した。

表 3-11 スループット試験項目

項番	同期(TDD)/準同期(TDD1)	プロトコル	信号方向
1	同期(TDD)	UDP	UL
2			DL
3		TCP	UL
4			DL
5	準同期(TDD1)	UDP	UL
6			DL
7		TCP	UL
8			DL

3.2.4. 試験手順

実行する iperf3 コマンドのオプションパラメーターは各ローカル 5 G 機器に有利不利が発生しないよう、プロジェクト参画各社と合意の上決定した。実行コマンドおよびオプションパラメーターは以下に記載する。下り方向のスループット試験は、ローカル 5 G 機器に対してルーティング設定は実施せず、iperf3 の Reverse Mode を使用して試験を実施する。

なお、各社スループット公称値の 7 割を目安として十分な性能が確認できない場合は、試験期間内で原因分析のうえで再試験を行っている。原因特定に至らないケースは、本レポートの考察には含めないものとする。

・ 同期(TDD) UDP

UP Link: iperf3 -u -c iperf3Server Addr -l 1300 -b 75M -P 10 -O 10 -t 60

Down Link: iperf3 -u -c iperf3Server Addr -l 1300 -b 75M -P 10 -O 10 -t 60 -R

・ 準同期(TDD1) UDP

UP Link: iperf3 -u -c iperf3Server Addr -l 1300 -b 49M -P 10 -O 10 -t 60

Down Link: iperf3 -u -c iperf3Server Addr -l 1300 -b 49M -P 10 -O 10 -t 60 -R

・ 同期(TDD) / 準同期(TDD1) TCP

UP Link: iperf3 -c iperf3Server Addr -l 1300 -P 10 -O 10 -t 60

Down Link: iperf3 -c iperf3Server Addr -l 1300 -P 10 -O 10 -t 60 -R

3.2.5. 試験結果と考察

3.2.5.1. 目標値から見た試験結果

試験結果として得たスループットが各 RAN 機器のスループット公称値に対して何割となるかを示す分布図を図 3-10 に示す。

各 RAN 機器の公称値における試験環境はベンダー毎に異なることから、公称値通りと異なることは想定された結果であるが、公称値 $100\% \pm 30\%$ に全体の 8 割が分布したことから、異なるベンダーのローカル 5 G 機器の性能を評価する試験環境としては妥当な環境と捉えている。

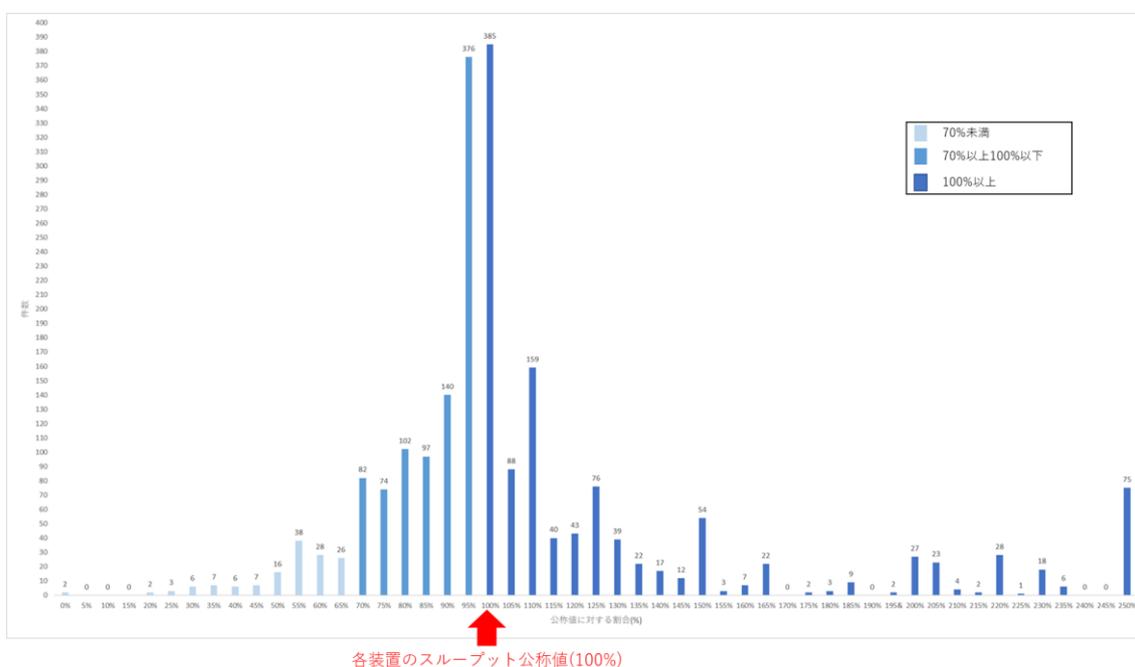


図 3-10 公称値達成率とパターン件数

3.2.5.2. RAN,UE の性能から見た試験結果

RANがサポートするQAMとRAN搭載アンテナ数の仕様により性能特性が異なるため、表 3-12 に示す通り RAN の QAM と搭載アンテナ数でグループ分けを行い、それぞれ結果を考察する。なお、RAN の QAM と搭載アンテナは表の内容に基づく。各グループの試験結果を図 3-11～図 3-30 に示す。

表 3-12 RAN の UL アンテナ数(QAM)×DL アンテナ数(QAM)で分けたグループ

グループ番号	RAN仕様
1	1(64)×2(256)
2	2(256)×2(256)
3	2(64)×4(64)
4	2(64)×4(256)
5	2(256)×4(256)

・グループ1 UL アンテナ数1(64QAM)×DL アンテナ数2(256QAM)

UL：UEのULアンテナ数(1~2)に関わらずスループット速度はほぼ同じ結果となった。

これはRANのULアンテナ数が1であるため、UEのULアンテナ数が変動してもスループット値に影響を与えないからと考えられる。

また、準同期(TDD1)ではUL通信の割合が同期(TDD)より多くなるため、TCP/UDP共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

DL：スループット速度はほぼ同じ結果であり、スループット最良値の7割の範囲でまとまっている。

また、準同期(TDD1)ではDL通信の割合が同期(TDD)より少なくなるため、TCP/UDP共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

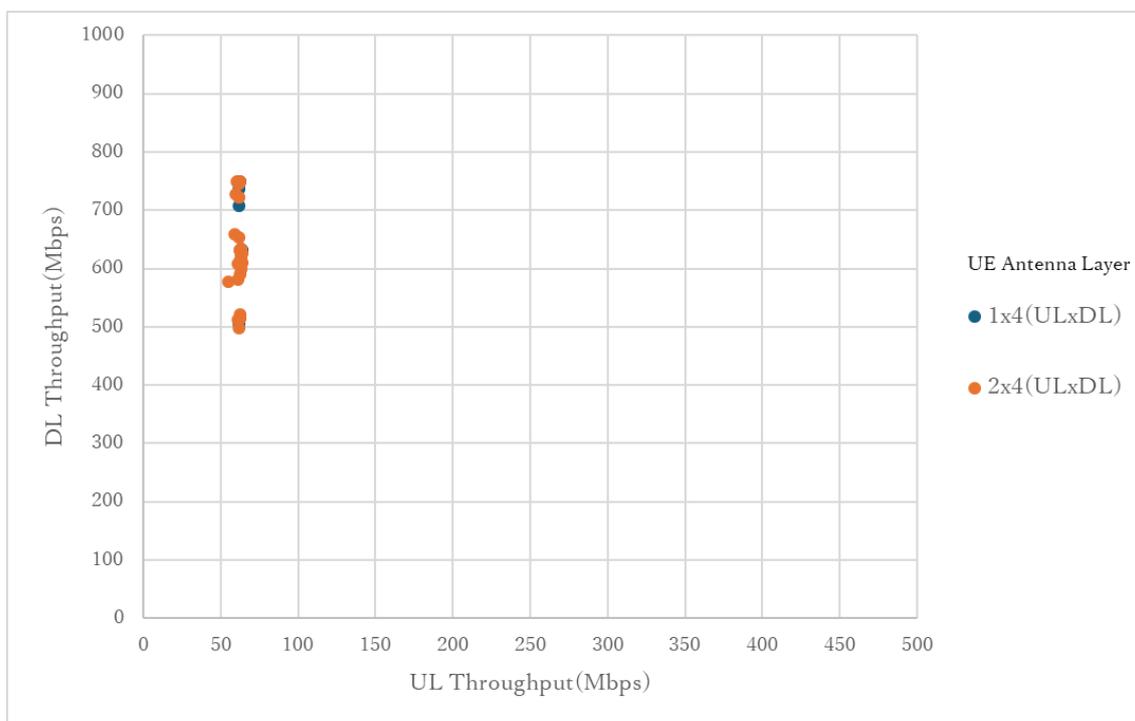


図 3-11 同期 UDP スループット試験結果(グループ 1)

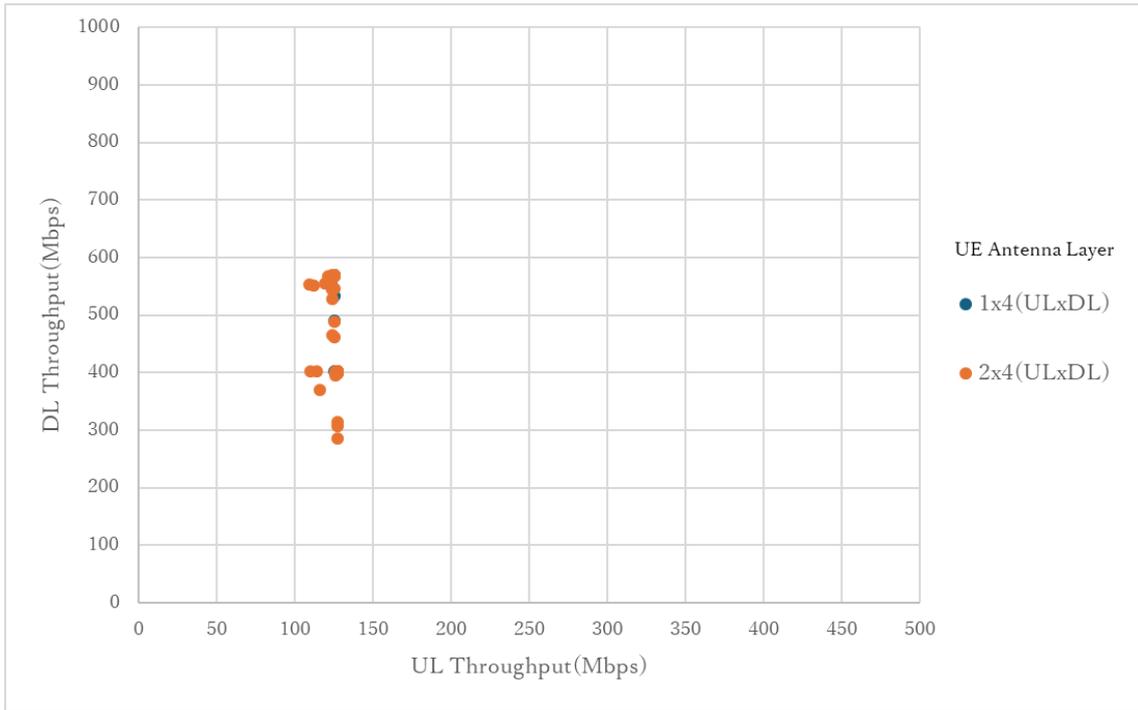


図 3-12 準同期 UDP スループット試験結果(グループ 1)

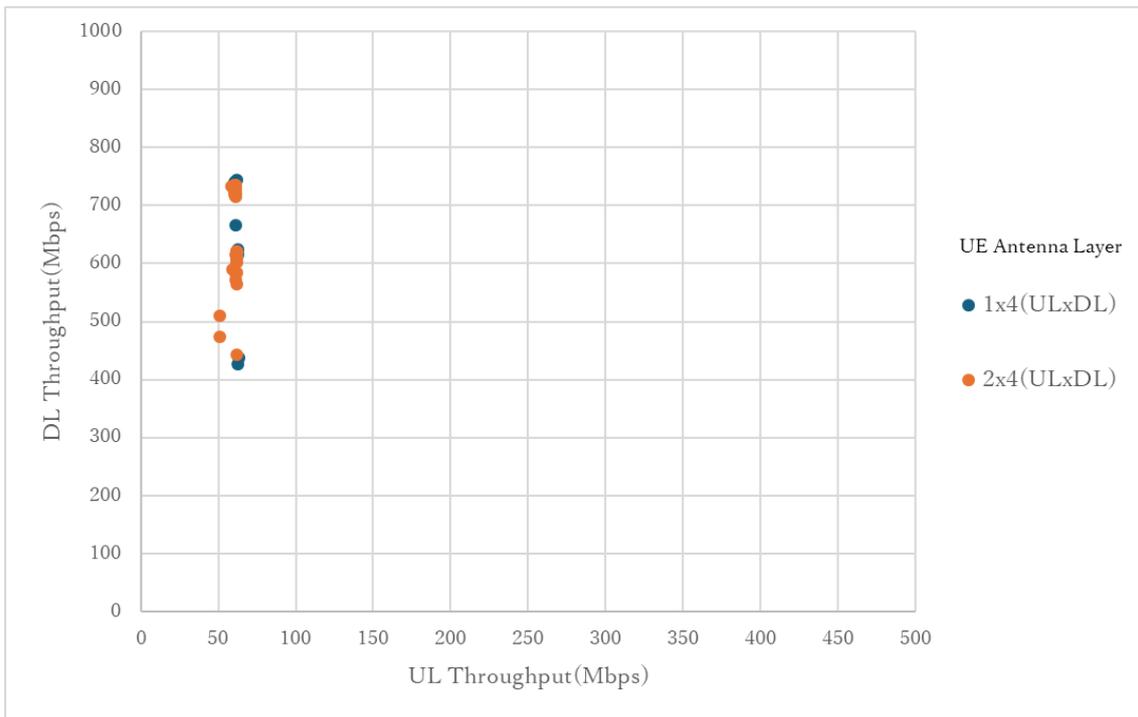


図 3-13 同期 TCP スループット試験結果(グループ 1)

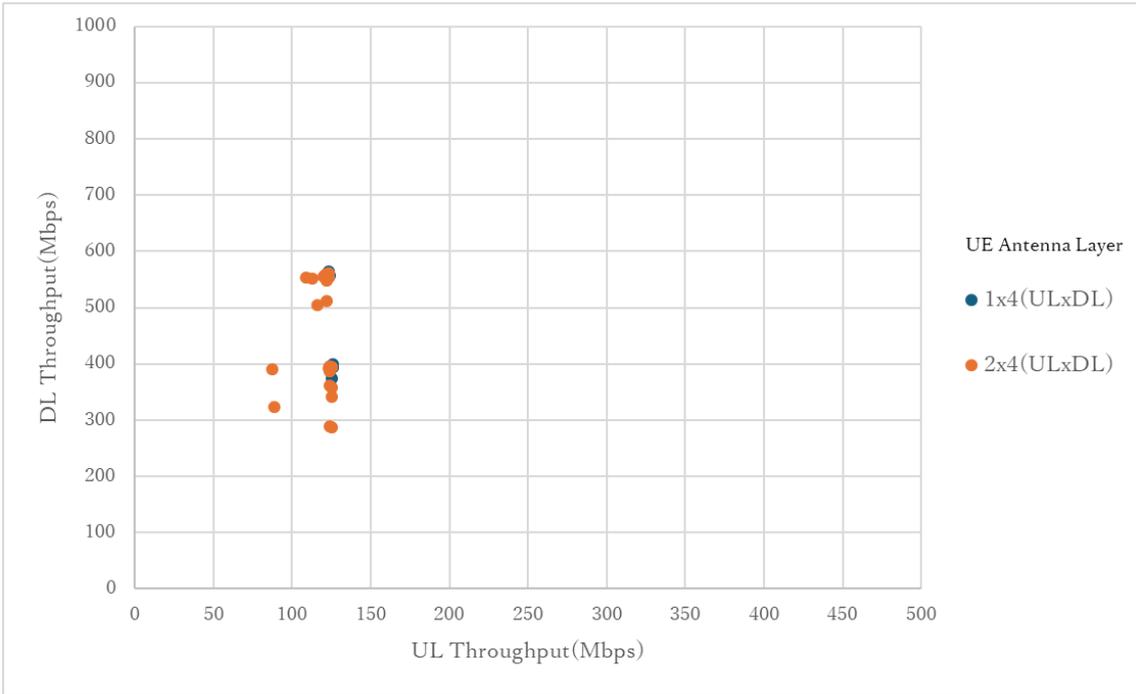


図 3-14 準同期 TCP スループット試験結果(グループ 1)

・グループ 2 UL アンテナ数 2(256 QAM)×DL アンテナ数 2(256 QAM)

UL：UL アンテナ数 1 と 2 の UE のスループット最良値を比較すると UL アンテナ数 1 に比べて UL アンテナ数 2 ではおおよそ 2 倍の速度となっている。これは RAN の UL アンテナ数が 2 であるために、UE の UL で使用するアンテナ本数によって違いが生じていると考えられる。また、準同期(TDD1)では UL 通信の割合が同期(TDD)より多くなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

DL：スループット速度はほぼ同じ結果であり、スループット最良値の 7 割の範囲でまとまっている。

また、準同期(TDD1)では DL 通信の割合が同期(TDD)より少なくなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

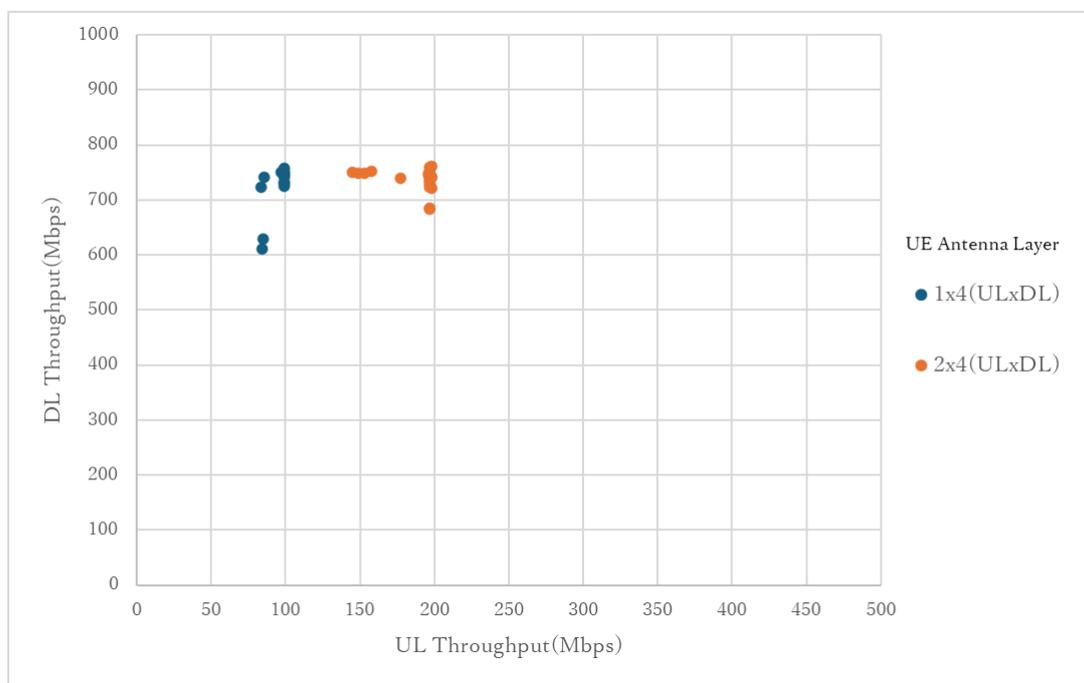


図 3-15 同期 UDP スループット試験結果(グループ 2)

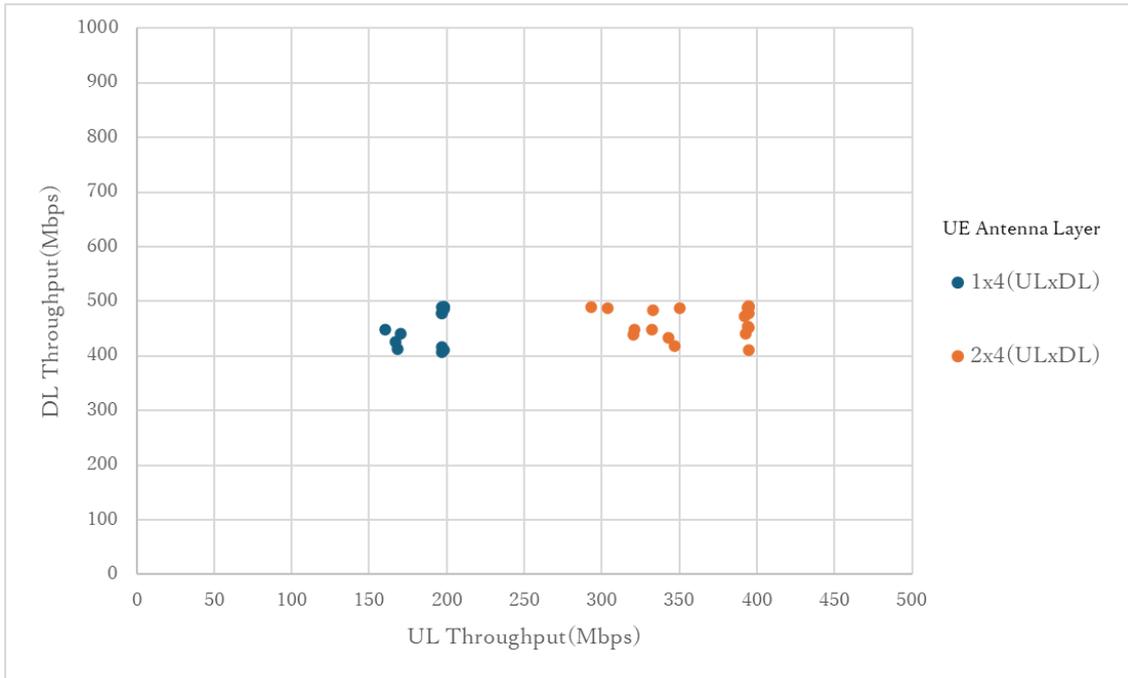


図 3-16 準同期 UDP スループット試験結果(グループ 2)

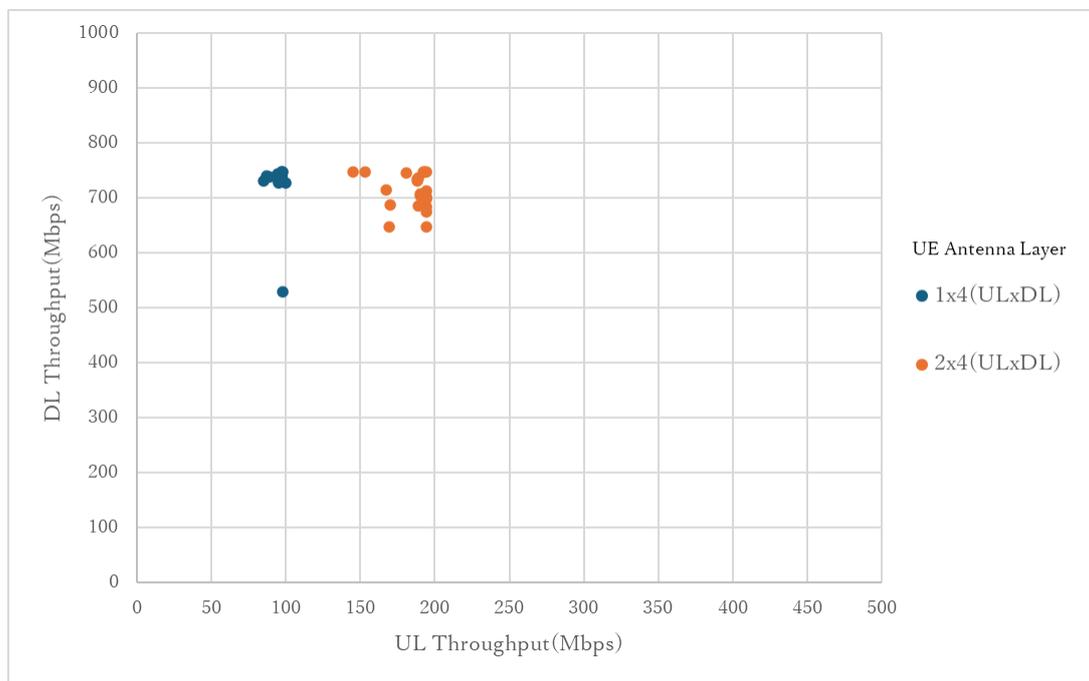


図 3-17 同期 TCP スループット試験結果(グループ 2)

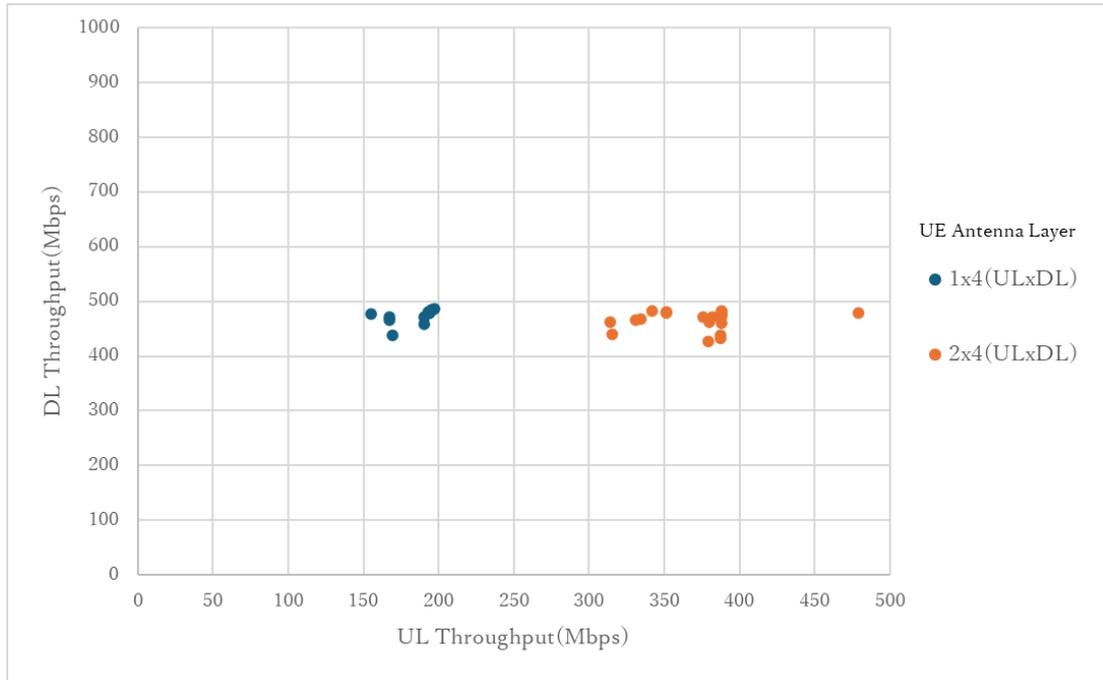


図 3-18 準同期 TCP スループット試験結果(グループ 2)

・グループ 3 UL アンテナ数 2(64 QAM)×DL アンテナ数 4(64 QAM)

UL： UE の UL アンテナ数 1 と 2 でスループット最良値を比較すると UL アンテナ数 1 に比べて UL アンテナ数 2 はおおよそ 2 倍の速度となっている。

また、準同期(TDD1)では UL 通信の割合が同期(TDD)より多くなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

DL：スループット速度はほぼ同じ結果であり、スループット最良値の 7 割の範囲でまとまっている。

また、準同期(TDD1)では DL 通信の割合が同期(TDD)より少なくなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

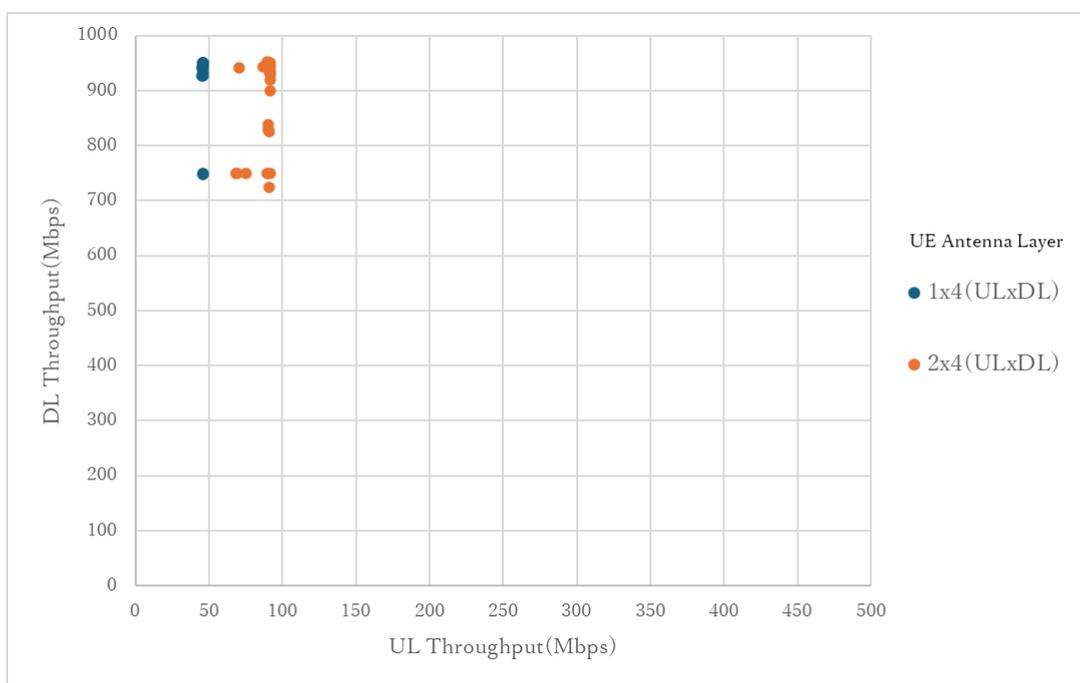


図 3-19 同期 UDP スループット試験結果(グループ 3)

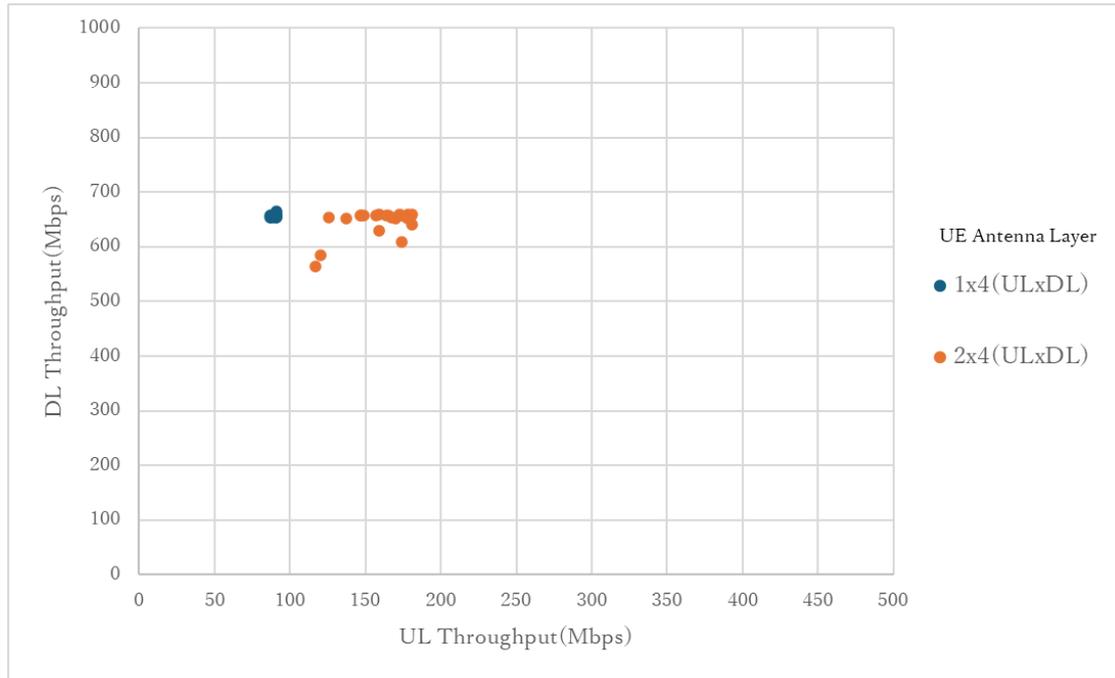


図 3-22 準同期 TCP スループット試験結果(グループ 3)

・グループ 4 UL アンテナ数 2(64 QAM)×DL アンテナ数 4(256 QAM)

UL：測定対象の RAN/UE 数が多いため、測定結果が発散している。

UE の UL アンテナ数 1 と 2 でスループット最良値を比較すると UL アンテナ数 1 に比べて UL アンテナ数 2 はおおよそ 2 倍の速度となっている。

また、準同期(TDD1)では UL 通信の割合が同期(TDD)より多くなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

DL：測定対象の RAN/UE 数が多いため、測定結果が発散している。

DL スループットは同期(TDD) /準同期(TDD1)および UDP/TCP の違いに関わらず 350Mbps 以上の速度が得られた。

また、準同期(TDD1)では DL 通信の割合が同期(TDD)より少なくなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた

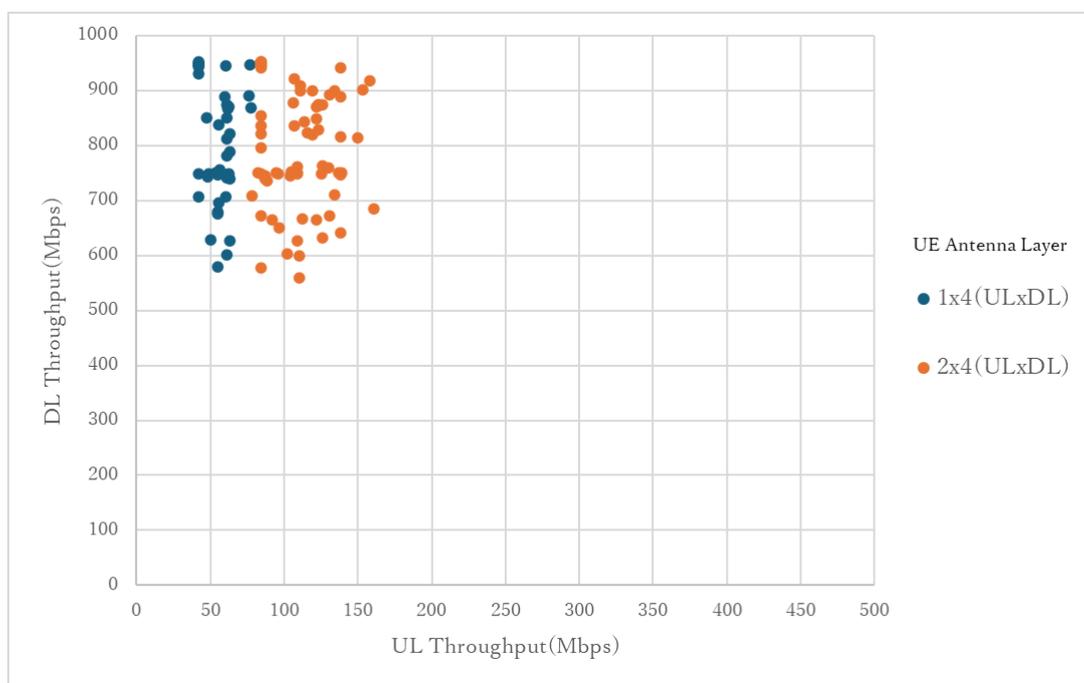


図 3-23 同期 UDP スループット試験結果(グループ 4)

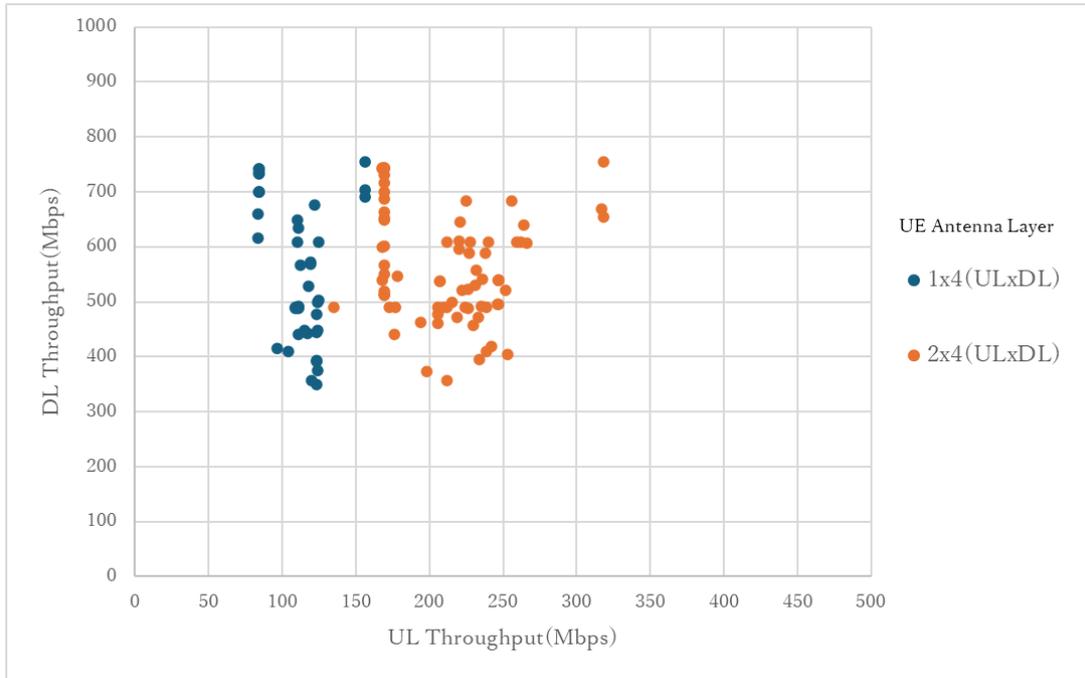


図 3-24 準同期 UDP スループット試験結果(グループ 4)

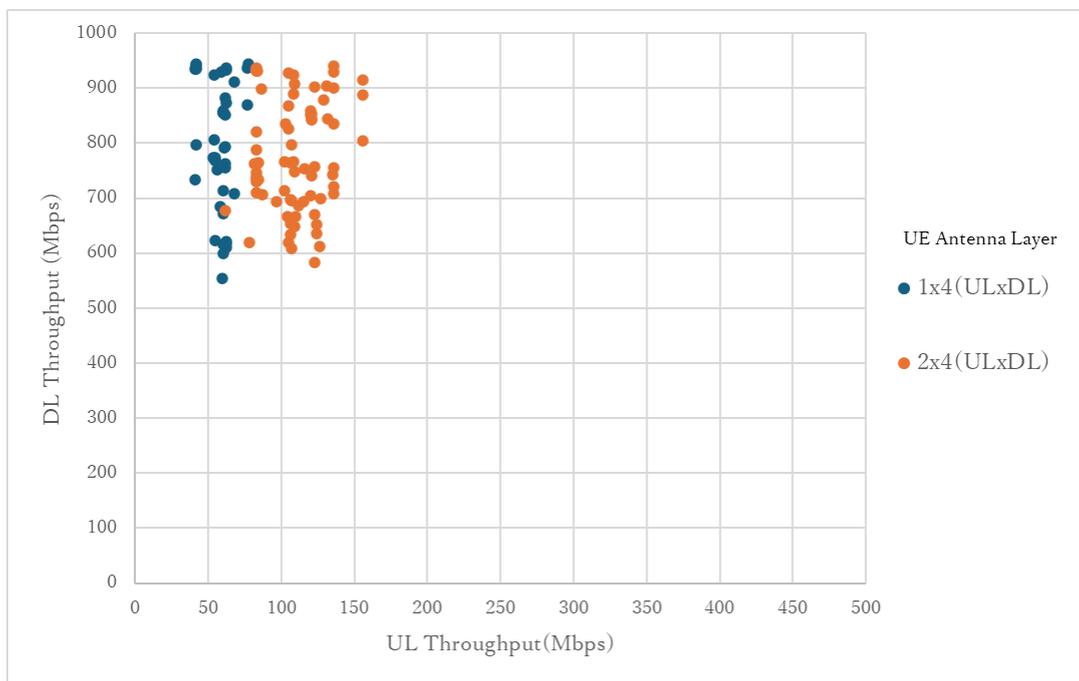
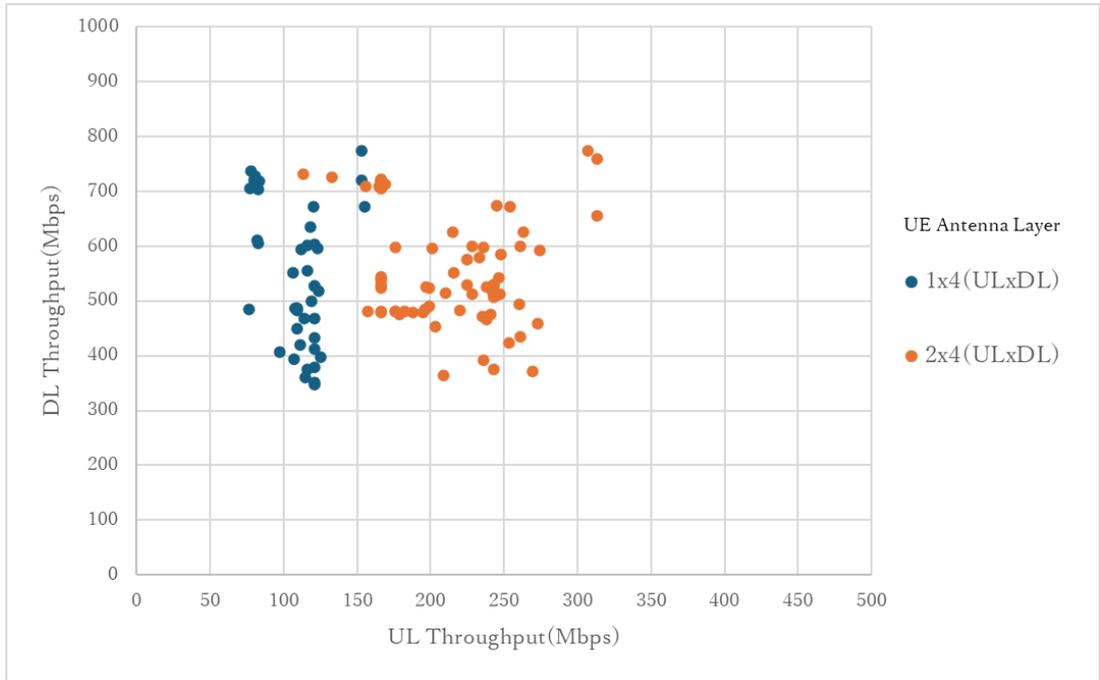


図 3-25 同期 TCP スループット試験結果(グループ 4)



・グループ 5 UL アンテナ数 2(256 QAM)×DL アンテナ数 4(256 QAM)

UL：測定対象の RAN/UE 数が多いため、測定結果が発散している。

UE の UL アンテナ数 1 と 2 でスループット最良値を比較すると UL アンテナ数 1 に比べて UL アンテナ数 2 はおおよそ 2 倍の速度となっている。

また、準同期(TDD1)では UL 通信の割合が同期(TDD)より多くなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

DL：測定対象の RAN/UE 数が多いため、測定結果が発散している。

DL スループットは同期(TDD) /準同期(TDD1)および UDP/TCP の違いに関わらず 500Mbps 以上の速度が得られた。

また、準同期(TDD1)では DL 通信の割合が同期(TDD)より少なくなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

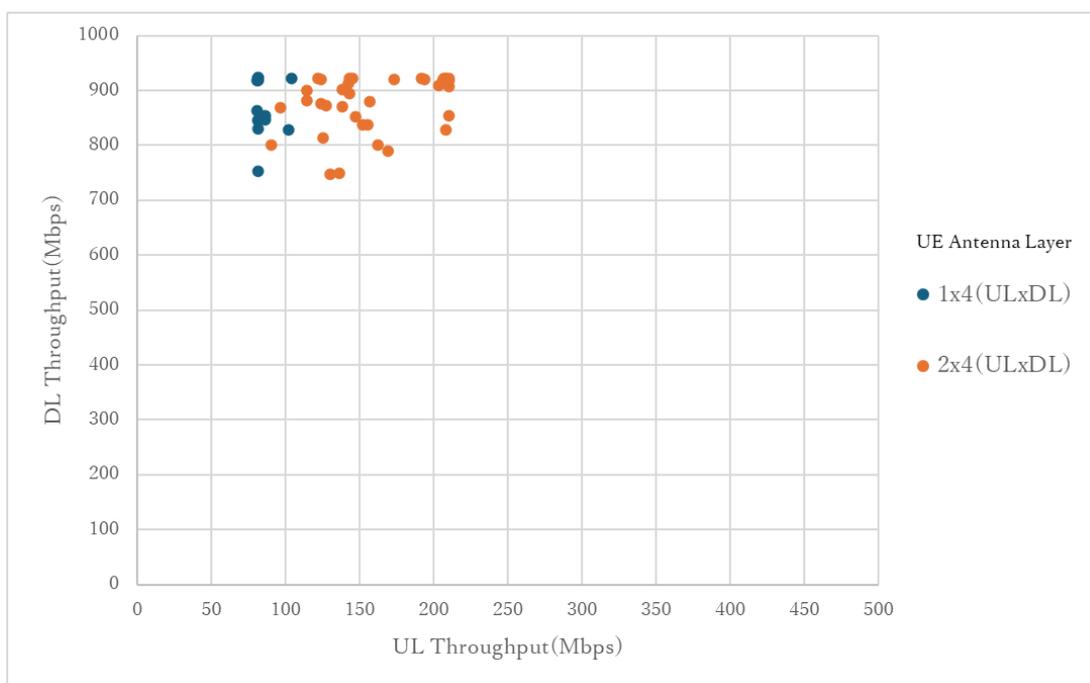


図 3-27 同期 UDP スループット試験結果(グループ 5)

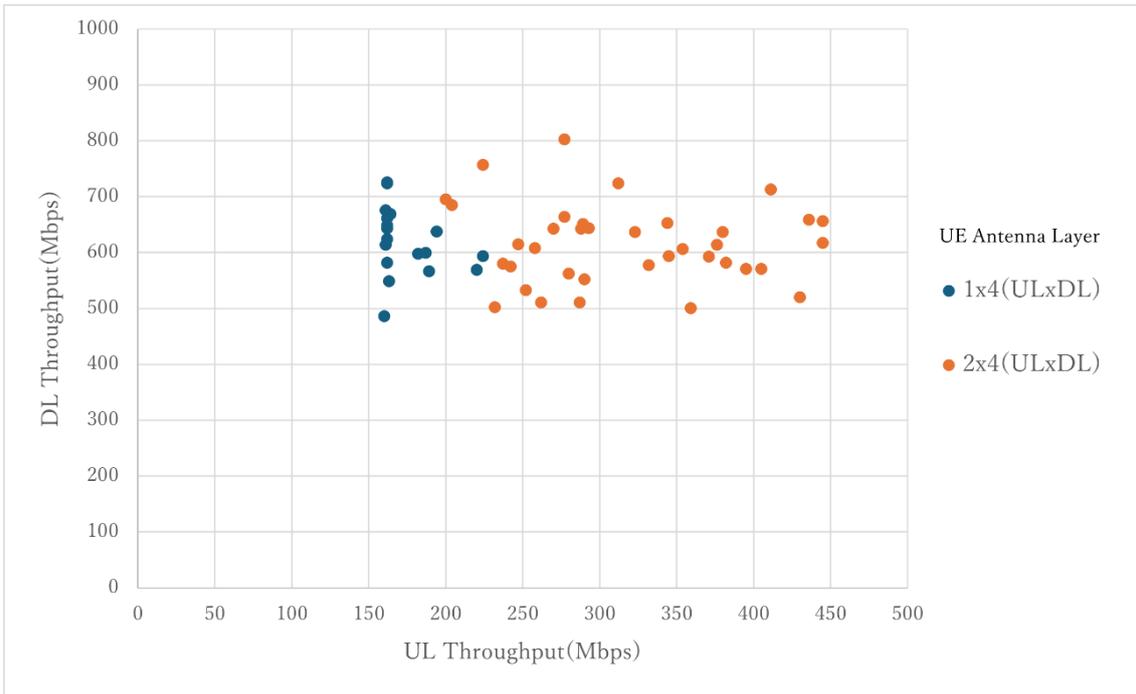


図 3-30 準同期 TCP スループット試験結果(グループ 5)

RAN, UE が搭載するアンテナレイヤ数とサポートする QAM の組み合わせ(表 3-12)毎のスループット試験結果の最良値を表 3-13 と表 3-14 に示す。

表 3-13 グループ(UL64QAM RAN)試験結果最良値一覧

グループ番号	UE アンテナレイヤ数	同期 (TDD)				準同期 (TDD1)			
		UDP		TCP		UDP		TCP	
		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
グループ 1	1×4	63.7	749	63.1	744	127	569	126	565
	2×4	63.7	749	62	736	127	569	125	560
グループ 3	1×4	46	950	45.5	945	92.1	670	91.3	665
	2×4	91.7	952	90.2	937	184	750	181	660
グループ 4	1×4	77.2	952	77.3	945	156	755	155	774
	2×4	161	952	156	940	318	755	313	774

※単位: Mbps

※n×m、n:上りのアンテナレイヤ数、m:下りのアンテナレイヤ数

表 3-14 グループ(UL256QAM RAN)試験結果最良値一覧

グループ番号	UE アンテナレイヤ数	同期 (TDD)				準同期 (TDD1)			
		UDP		TCP		UDP		TCP	
		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
グループ 2	1×4	98.8	757	99.8	747	198	490	197	486
	2×4	198	762	194	748	395	491	479	482
グループ 5	1×4	104	924	104	933	224	755	224	726
	2×4	210	922	205	904	452	818	445	803

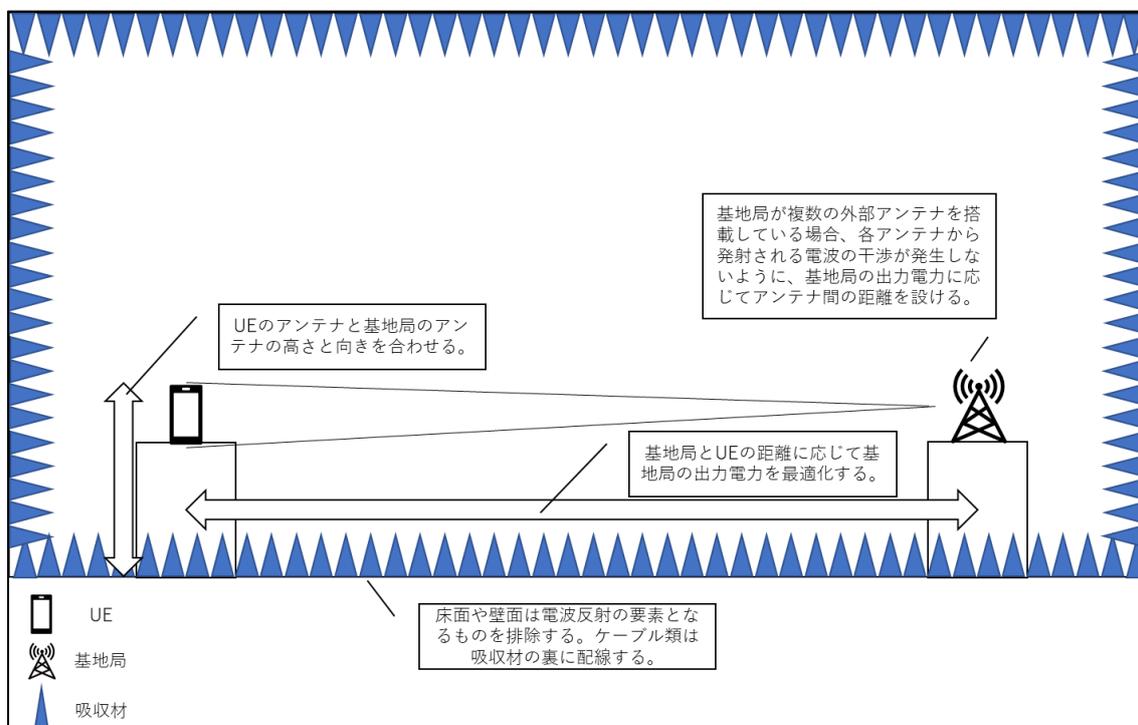
※単位: Mbps

※n×m、n:上りのアンテナレイヤ数、m:下りのアンテナレイヤ数

3.2.6. 通信品質を高めるためのナレッジ

スループット試験において公称スペック値と同等の実測結果とならないことも多く、試験実施に苦慮した。プロジェクト参加企業各社の協力のもと、以下について検討・実施し、スペック通りのスループット速度を測定することができたので図 3-31 をもとにナレッジを紹介する。

記載の内容はシールドテントでの試験結果から得られたナレッジではあるが、電波の発射方向や干渉と反射、外的ノイズによる影響と、カバーエリアに応じた最適な基地局の出力電力を考慮することは、実際のローカル 5 G の利用シーンにおいても重要であると考えられる。最適な基地局の設置場所や出力電力を検討する際に参考にしていきたい。



- 設置位置とアンテナの向き調整

MIMO 通信では、基地局と UE は複数本のアンテナを用いて信号の分離を行い、マルチストリーム通信を実現している。

各アンテナ間の相関性が低いほど信号分離は良好となるが、シールドテント等の設置場所が制限される環境では、アンテナ間の距離が至近となることで相関性が高くなり、MIMO の効果が十分に発揮できなくなる。分析により、このことが原因でスループット速度が低下したことが明らかになった。

以下を実施することでスペック通りのスループット速度を記録することができた。

- 基地局と UE アンテナの高さを揃え、UE を基地局が発射する電波を受け止められるような向きに設置した。
- 外部アンテナを搭載する基地局を使用する際には、アンテナ同士の干渉が発生しないように各アンテナの距離を適切に離し配置した。
- シールドテント内で電波の反射や屈折が発生しないよう、試験環境に電波を遮る物品や反射の原因となる物品を置かないように心掛けた。また、ケーブル類は極力吸収材の下に配線するようにした。

● 基地局の出力電力の最適化

基地局と UE の接続において、UE は無線信号の品質情報(CQI レポート)を基地局に送信し、基地局は UE の状況に応じた最適な変調方式を採用する。

電波品質が高いと高次変調が採用され通信速度が向上するが、品質が悪い場合は低次変調を採用し、通信速度が低下する。これは 5 G 通信における誤り値(BLER)の訂正能力を強化するための必要動作である。

無線品質を向上し高次変調を利用するためには、先述の基地局と UE のアンテナ距離と向きを最適化することに加え、動作環境にとって最適な基地局の出力電力を設定する必要がある。最適な基地局の出力電力はローカル 5 G 動作環境毎に異なるため、利用者が調査し設定を行う必要がある。

ローカル 5 G 利用者が実施できる代表的な無線品質情報の確認方法として、接続中 UE に表示されるアンテナビクトの本数や、RSRP、RSRQ、SINR の数値確認が挙げられる。基地局側の観点でも電波品質情報を確認できることが理想ではあるが、UE の確認でも必要十分な情報を得ることができる。表 3-15、表 3-16、表 3-17 は無線環境下の強度と品質を表す項目の数値目安である。無線信号の強度と品質は、各項目を単独で評価するのではなく、総合的に考慮して判断する必要がある。もし一つの項目が悪化すると、全体の通信性能が低下する可能性がある。また、信号の強度が過剰になることも品質の低下を招くため、注意が必要である。具体的には、RSRP の値が-50dBm 以上になると、回路が飽和状態に達し、正確な復調が難しくなる。この状態は MIMO 技術に悪影響を及ぼし、結果として通信速度が低下することがある。さらに、無線通信自体が困難になるなどの問題が発生するリスクも存在する。本プロジェクトでは、接続中の UE の RSRP の値を-70dBm、SINR を 20dB 以上に保つために、基地局の出力電力を適切に設定している。

表 3-15 RSRP 品質目安

数値	品質状態
-50dBm より強い	悪い(過剰電力)
-50dBm~-80dBm	非常に良好
-80dBm~-90dBm	良好
-90dBm~-100dBm	やや悪い
-100dBm 未満	悪い

表 3-16 RSRQ 品質目安

数値	品質状態
-10dB 以上	非常に良好
-10dB~-15dB	良好
-15dB~-19.5dB	やや悪い
-19.5dB 未満	悪い

表 3-17 SINR 品質目安

数値	品質状態
20dB 以上	非常に良好
13dB~20dB	良好
0dB~13dB	やや悪い
0dB 未満	悪い

3.3. 4K 動画伝送遅延試験結果

3.3.1. 試験構成

試験で使用した環境を図 3-32 に示す。

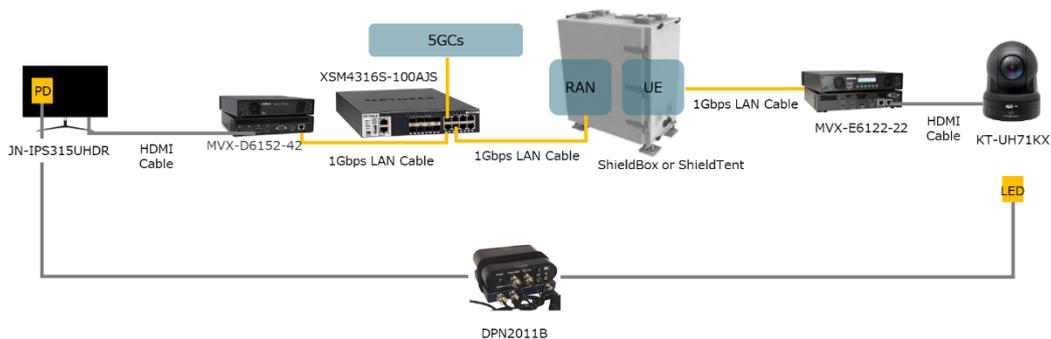


図 3-32 4K 動画伝送遅延試験構成

RAN と UE はシールドボックスもしくはシールドテント内に配備し、UE 配下に動画エンコーダと 4K カメラを、N6 にデコーダと 4K モニタを接続する。

光パス遅延測定器(LED 部)を 4K カメラ前に配置し、光パス遅延測定器(PD 部)を 4 K モニタに貼り付け、4 K カメラが撮影した映像とモニタに移った映像の時間差分を遅延として測定する。

相互接続検証時、スループット試験時と同様に、環境差分による試験結果影響を抑えるため、UE の RSRP 値が約-70dBm となるように RAN の出力値や UE の設置場所を調整した。シールドボックスおよびシールドテントに関する情報は表 32 に示す内容と同一であるため、本項では割愛する。

3.3.2. 試験機器一覧

本試験で使用したローカル 5 G 機器品名および仕様については、表 3-3 に示す情報と同様のため、本項では割愛する。ローカル 5 G 機器以外の試験機器一覧を表 3-18 に示す。

表 3-18 4K 動画伝送試験機器一覧

品名	型番
4K カメラ	KT-UH71KTN
エンコーダ	MVX-E6122-22
デコーダ	MVX-D6152-4
光パス遅延測定器	PicoScope 2205AMSO

3.3.3. 試験項目

本試験の試験項目を表 3-に示す。

表 3-19 4K 動画伝送遅延試験項目

No	試験項目	試験合格基準
1	遅延時間	L5 Gネットワーク区間のネットワーク遅延が 50msec 以下であることを確認する。
2	ブロックノイズ	ブロックノイズが出力されていないことを確認する。

3.3.4. 試験手順

Web カメラ、動画エンコーダ、デコーダをローカル 5 G 試験環境に接続し、4K 60fps の動画を 15Mbit/s で伝送する。目視にてモニタ画面上に撮影した動画がノイズなく伝送できることを確認するとともに、光パス遅延測定器を使用し、ローカル 5 G ネットワーク内のネットワーク遅延時間を測定する。

ネットワーク遅延時間は光パス測定器で計測した遅延時間から動画エンコーダとデコーダを直結したときの遅延時間を差し引いたものとする。

なお、ネットワーク遅延時間は 50ms を目安として著しく遅延が大きい場合や画面ノイズが消えない場合は、試験期間内で原因分析のうえ再試験を行っている。原因特定に至らないケースは含めないものとする。

3.3.5. 試験結果と考察

試験を実施した全 255 の組み合わせの内 9 割が 200ms 以下のネットワーク遅延時間で 4K 動画を伝送できており、相互接続による 4K 動画伝送が問題なく可能であることを証明できた。

さらに、そのうちの 8 割は 50ms 以下のネットワーク遅延時間を記録しており、10ms~40ms の範囲で分布していることが傾向として得られた。

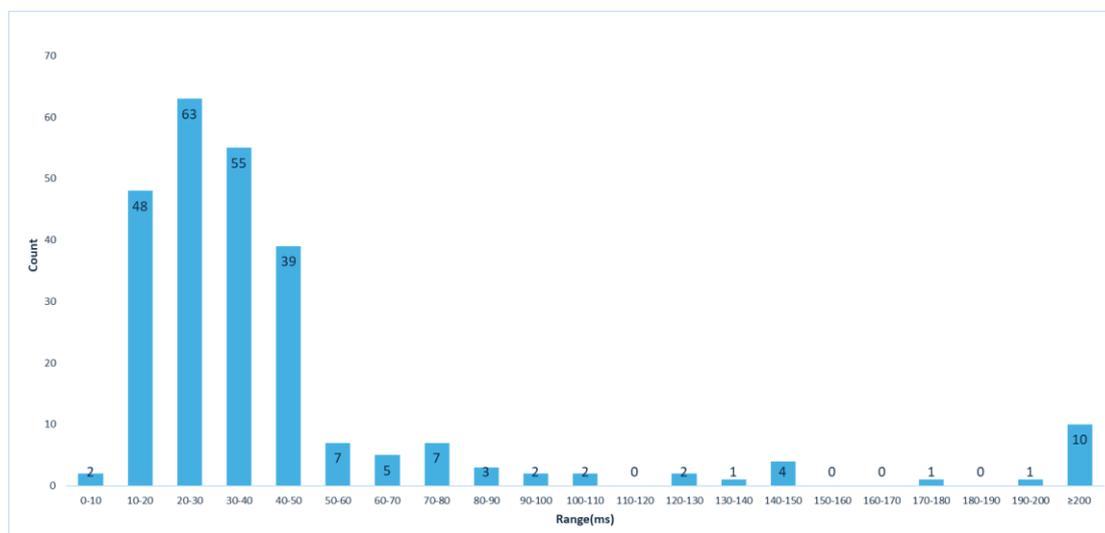


図 3-33 遅延時間と件数

この試験から以下の知見が得られた。

1. 各ローカル5 G機器の 3GPP Release バージョンのサポートによる試験結果への影響は確認されなかった。
2. 試験中のネットワーク状況により、4K 動画のパケットのフラグメントが確認された。そのため、5GC が UE に通知する MTU サイズを試験環境のネットワークに合わせて調整することで問題の解決に至った。

4. テーマ 2 (ローカル 5 G マルチベンダー構成での RIC 試験)

テーマ 2 では、RIC を活用したローカル 5 G の機能高度化を目的に各種シナリオに基づいたマルチベンダー接続試験を行う。

RIC は非リアルタイム処理による動作を実現する Non-RealTime RIC (以下 Non-RT RIC) とリアルタイム処理による動作を実現する Near-RealTime RIC (以下 Near-RT RIC) の 2 種類が O-RAN Alliance により定義されている。また、Non-RT RIC では rApp、Near-RT RIC では xApp と呼ばれるアプリケーションをそれぞれ用いることで、任意のユースケースに基づいた処理が行われる。

本試験では、O-RAN 準拠の各機器群における相互接続性を確認するための統合試験に加え、RIC 実装有無によるパフォーマンスの差分を確認する性能評価試験を実施する。

表 4-1 テーマ 2 内容

項番	試験内容
4.1 rApp (RAN の送信電力最適化試験)	・動作確認試験(統合試験) ・性能評価
4.2. xApp (RB 最適化を活用したローカル 5 G 干渉軽減試験)	・動作確認試験(統合試験) ・性能評価

4.1. rApp による RAN の送信電力最適化試験

本試験はネットワークの消費電力の低減を通して持続可能な運用を実現するために近傍の通信状況から RAN の送信電力を最適化することを目指す。

ローカル 5 G の主なユースケースの一つであるオフィスや学校では、昼間に多数の端末が接続される一方、夜間や休日は接続数が大幅に減少するなど時間帯に応じて通信状況が大きく変化することが考えられる。そのため、通信需要が落ちついた時間帯においては、RAN の送信電力を低減しても影響が限定的となる。また、複数の RAN で構成される事例では、端末数の少ない時間帯やエリアの RAN の電源を停止することで、大幅な省電力化が期待できる。

しかし、特定 RAN の電源を停止すると、一部の通信に多大な影響を及ぼしかねないことが予見される。そのため、周囲の RAN にて送信電力を調整することで、端末が点在するエリアをカバーし、通信品質を維持する必要がある。

本試験では、Non-RT RIC 上で動作する rApp を用いて、RAN の送信電力をエリアごとに動的に最適化する。rApp の活用により、通信品質を維持しつつ、動的な省電力化実現することで運用コストの低減を目指す。

4.1.1. 試験構成

本試験を実施するための構成を、図 4-1 に示す。

O-RAN 準拠の CU/DU や RU、5GC からなるローカル 5 G システム、RAN の監視やオーケストレーター機能を有する SMO Framework、Non-RT RIC、rApp および 1 台の UE にて構成される。

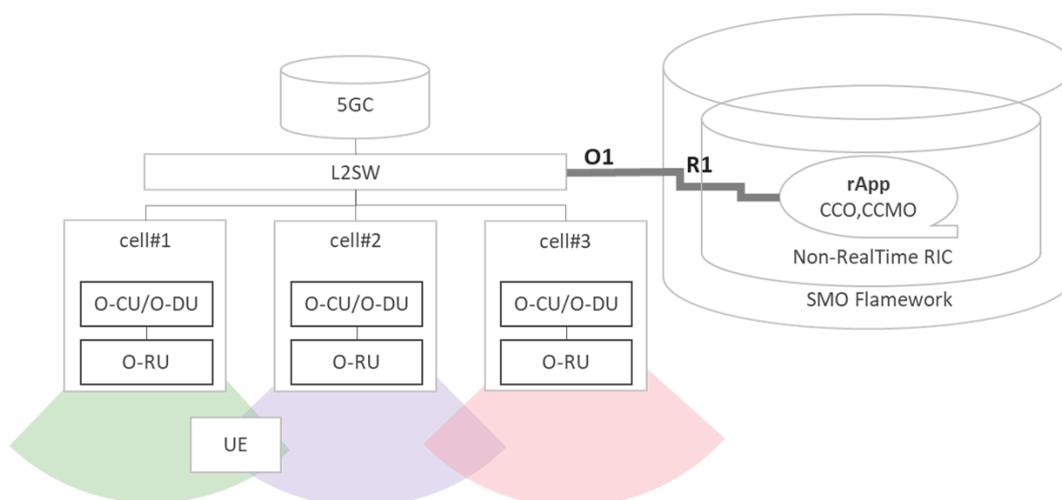


図 4-1 rApp 試験構成

表 4-2 コンポーネント説明

コンポーネント名	接続先	役割	用途
SMO Framework	Non-RT RIC、O-CU/O-DU、O-RU	ネットワーク全体のサービス管理・オーケストレーションを行う	ネットワーク機能のライフサイクル管理、リソース管理、ポリシー管理、監視を行う
Non-RT RIC	SMO Framework、rApp	非リアルタイムの RAN 制御・最適化を行う	rApp によるネットワーク設定管理、パフォーマンス分析を行う
rApp (CCO, CCMO)	Non-RT RIC	Non-RT RIC 上で動作するアプリケーション	ネットワーク設定変更、データ収集・分析を行う
O1 Interface	SMO Framework と管理システム間	ネットワーク機器(Cell)の管理と監視を行う	ネットワーク設定の取得・変更、データ収集を行う
R1 Interface	SMO Framework (Non-RT RIC) と rApp 間	rApp と RIC の情報交換を行う	パフォーマンスデータの取得と制御支持の送信を行う

4.1.2. 試験機器一覧

本試験で使用した機器を表 4-3 に示す。

表 4-3 rApp 試験で使用した機器品名

ベンダー	区分
LITEON	O-RU
G REIGNS(HTC)	O-CU/O-DU
LITEON	SMO Framework
LITEON	Non-RT RIC
LITEON	rApp
Open 5 GS	5GC

4.1.3. 試験項目

本試験の試験項目を表 4-4 に示す。

表 4-4 rApp 試験項目

No	試験	試験観点	
1	統合試験	O1 Interface	
2			NETCONF セッションを正常に確立し、終了できること
3			NETCONF を使って新しい管理対象オブジェクト (MOI) を作成できること
4			NETCONF で既存の管理対象オブジェクト (MOI) の情報を正しく読み取れること
5			NETCONF で管理対象オブジェクト (MOI) の属性を変更できること
6		NETCONF で管理対象オブジェクト (MOI) を削除できること	
7		R1 Interface	SME を使ってサービス一覧を正しく取得できること
8			SME で特定のサービス情報を正しく取得できること
9			SME で特定のサービス情報を更新できること
10			SME で特定のサービスを削除できることを
11			DME を使って infojob の一覧を取得できること
12			DME で特定の infojob 情報を取得できること
13			DME で特定の infojob を更新できること
14			DME で特定の infojob を削除できること
15			DME で特定の infojob のステータスを取得できること
16			O-RAN Specification 7.2.5.2 に基づき DME で infotype の一覧を取得できること
	O-RAN Specification 7.2.5.3 に基づき DME で特定の infotype 情報を取得できること		

17			O-RAN Specification 7.2.4.1 に基づき DME で infotype の一覧を取得できること
18			O-RAN Specification 7.2.4.2 に基づき DME で特定の infotype 情報を取得できること
19			DME で特定の infotype を更新できること
20			DME で特定の infotype を削除できること
21			DME で特定の infoproducer 情報を取得できること
22			DME で特定の infoproducer を更新できること
23			DME で特定の infoproducer を削除できること
24			DME で特定の infoproducer のステータスを取得できること
25			DME で特定の infoproducer に紐づく infojob 情報を取得できること
26	性能評価	性能評価試験	複数パターンのシナリオを作成し、rApp の性能評価を実施する

4.1.4. 試験シナリオ

性能評価試験シナリオを示す。性能評価試験では、rApp が図 4-2 および表 4-5 に示すシナリオアーキテクチャを、図 4-3 に示すテストシナリオにおいて実行できることを確認する。rApp として CCO (Coverage and Capacity Optimization)、CCMO (Cell Coverage Monitoring and Optimization) を実装する。CCO は通信エリアのカバー範囲と送信電力の最適化を行い、CCMO は Cell のカバー範囲の監視と最適化を行う。

RAN の送信電力および通信エリアのカバー範囲率は SINR 値で判定する。rApp は、試験対象エリア内の SINR 値を算出するために、ITU-R M.2135-1 「IMT-Advanced の無線インターフェース技術評価のためのガイドライン」 (Guidelines for Evaluation of Radio Interface Technologies for IMT-Advanced) [5] の Indoor Hotspot (InH) 非見通し (NLoS) モデルを使用する。

Cell の情報取得間隔はアプリケーションの標準仕様上、ユーザーの選択に基づき 5 分、15 分、60 分間隔で適用することが可能である。今回はよりリアルタイム性の高い性能評価を行うため最短の 5 分間隔で試験を実施する。

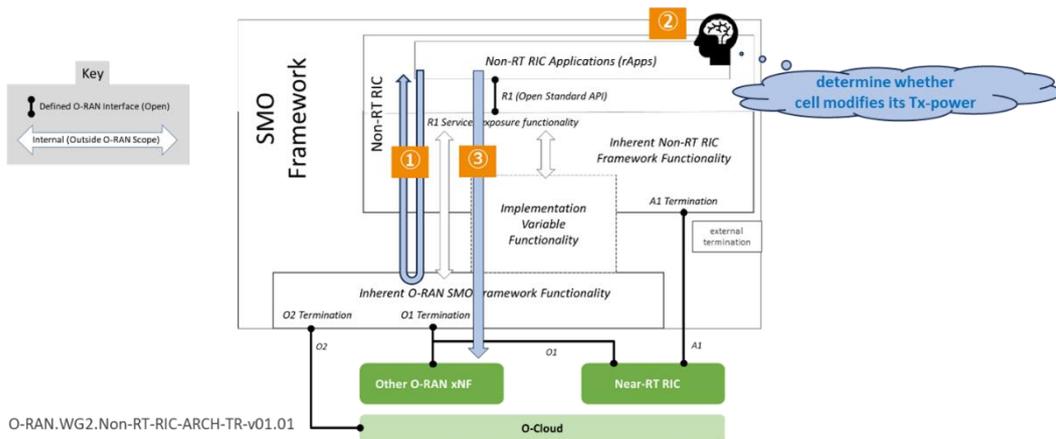


図 4-2 rApp アーキテクチャ

表 4-5 アーキテクチャ確認観点

確認観点	
①	rApp は 5 分毎に R1 を介して SMO から Cell 情報を取得できること。
②	rApp はカバレッジ最適化のための Cell 送信電力を計算し、最適な送信電力を設定できること。
③	rApp は、送信電力変更のためのコマンドを、O1 Interface を介して実行できること。

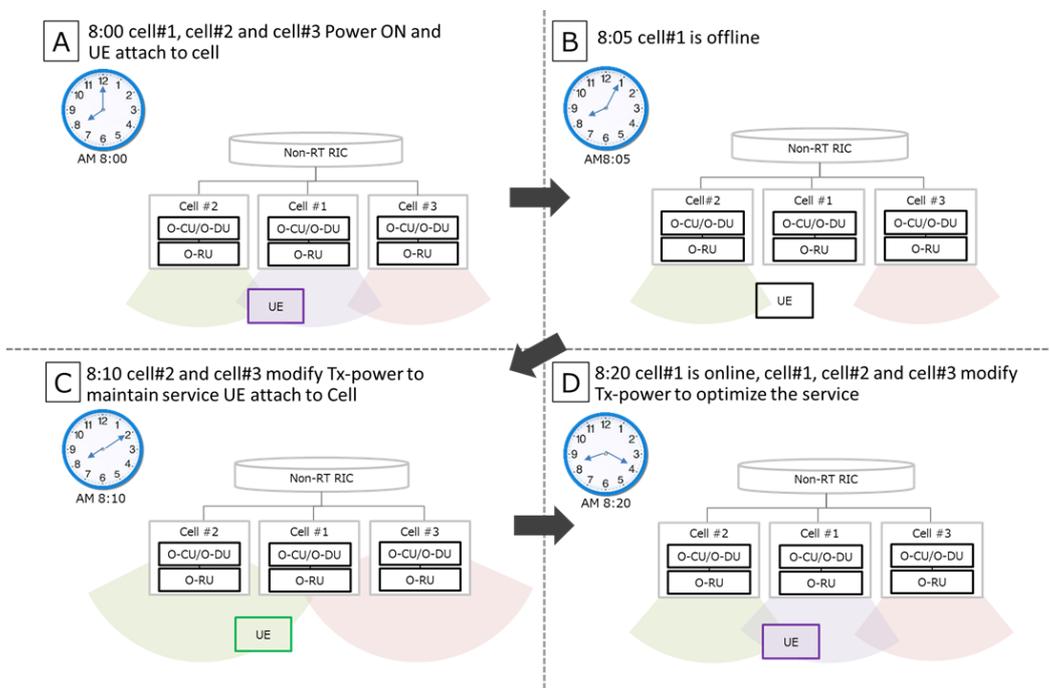


図 4-3 rApp テストシナリオ

4.1.5. 試験結果と考察

4.1.5.1. 統合試験結果

統合試験結果を表 4-6 に示す。この試験結果から、以下が証明された。

- SMO と O-RAN(O-RU、O-CU/O-DU 統合ノード)間のインターフェースが、O-RAN.WG10.O1-Interface.0-R003-v13.00 [6]に規定された O1 Interface に準拠していること。
- rApp と SMO 間のインターフェースが、O-RAN.WG2.R1AP-R003-v04.00 [7]に規定された R1 INTERFACE に準拠していること。
- 各機能群において O-RAN 準拠のインターフェースを実装されていれば、相互接続が可能であること。

表 4-6 rApp 統合試験結果

No	試験	試験観点	Pass/Fail	O-RAN Specification	
1	O1 Interface	NETCONF セッション確立	NETCONF セッション終了が可能であること	Pass	6.1.8 6.1.9
2		NETCONF による MOI 作成	管理対象オブジェクト (MOI) を正常に作成できること	Pass	6.1.2
3		NETCONF による MOI 読み取り	管理対象オブジェクト (MOI) を正常に読み取れること	Pass	6.1.5
4		NETCONF による MOI 属性変更	管理対象オブジェクト (MOI) を正常に変更できること	Pass	6.1.3
5		NETCONF による MOI 削除	管理対象オブジェクト (MOI) を正常に削除できること	Pass	6.1.4
6	R1 Interface	SME サービス一覧照会	サービスデータ一覧を取得できること	Pass	6.1.4.5
7		SME 単一サービス照会	特定のサービスデータを取得できること	Pass	6.1.4.5
8		SME 単一サービス更新	特定のサービスデータを更新できること	Pass	6.1.4.2
9		SME 単一サービス削除	特定のサービスデータを削除できること	Pass	6.1.4.3
10		DME infojob 一覧照会	infojob データ一覧を取得できること	Pass	7.3.5.2
11		DME 単一 infojob 照会	特定の infojob データを取得できること	Pass	7.3.5.3
12		DME 単一	特定の infojob データを	Pass	7.3.4.1

		infojob 更新	更新できること		
13		DME 単一 infojob 削除	特定の infojob データを 削除できること	Pass	7.3.4.2
14		DME 単一 infojob ステータス照会	特定の infojob データの ステータスを取得できる こと	Pass	7.3.4.2
15		DME infotype 一覧照会試験	infotype データ一覧を取 得できること	Pass	7.2.5.2
16		DME 単一 infotype 照会 試験	特定の infotype データ を取得できること	Pass	7.2.5.3
17		DME infotype 一覧照会試験	infotype データ一覧を取 得できること	Pass	7.2.4.1
18		DME 単一 infotype 照会 試験	特定の infotype データ を取得できること	Pass	7.2.4.2
19		DME 単一 infotype 更新	特定の infotype データ を更新できること	Pass	7.2.4.1
20		DME 単一 infotype 削除	特定の infotype データ を削除できること	Pass	7.2.4.2
21		DME 単一 infoproducer 照会	特定の infoproducer デ ータを取得できること	Pass	7.1.5.3
22		DME 単一 infoproducer 更新	特定の infoproducer デ ータを更新できること	Pass	7.1.5.2
23		DME 単一 infoproducer 削除	特定の infoproducer デ ータを削除できること	Pass	7.2.5.2
24		DME 単一 infoproducer ステータス照 会	特定の infoproducer デ ータのステータスを取得 できること	Pass	7.1.5.3
25		DME 単一 infoproducer に紐づく infojob 照会	特定の infoproducer に 紐づく infojob データを 取得できること	Pass	7.1.5.3

4.1.5.2. 性能評価結果と考察

性能評価結果を、表 4-7 に示す。08:00 時点において、Cell#1/Cell#2/Cell#3 の初期送信電力は 10dBm であったが、rApp を接続することで CCMO より送信電力を 18dBm に変更し、通信エリアのカバー率は 100%を達成した。

08:05 時点において、Cell#1 が停止し Cell#2/Cell#3 の送信電力は 18dBm 、通信エリアのカバー率は約 70%であった。08:10 時点で CCMO が動作することで送信電力 24dBm、5

分以内に通信エリアのカバー率は 100%へ復旧した。

確認観点を全て Pass したことから、CCO および CCMO の rApp は、UE の接続性を維持しカバレッジを最適化するために RAN のパラメーターを動的に調整することに成功した。今後の展開として、複雑な環境でのローカル 5 G 導入に向け、O-RAN アーキテクチャの実用性をさらに高めていく。また、rApp の追加開発として時間帯に応じて RAN の電源を自動制御する機能を組み合わせることで、スマートな電力管理による省エネルギー化を目指す。

表 4-7 rApp 性能評価結果

試験シナリオ		試験項目	試験観点	Pass/Fail	
A	1	08:00 AM	rApp 最適化前に Cell#1 がオンライン	Cell#1 がコマンドラインと LiteNetics の両方でオンライン状態であり、一定の送信電力でサービスを提供していること	Pass
	2		rApp 最適化前に Cell#2 がオンライン	Cell#2 がコマンドラインと LiteNetics の両方でオンライン状態であり、一定の送信電力でサービスを提供していること	Pass
	3		rApp 最適化前に Cell#3 がオンライン	Cell#3 がコマンドラインと LiteNetics の両方でオンライン状態であり、一定の送信電力でサービスを提供していること	Pass
	4		UE は Cell に接続中	Cell および UE の両方で UE の接続状態を確認できること	Pass
B	1	08:05 AM	rApp 最適化前に Cell#1 がオフライン	Cell#1 がコマンドラインと LiteNetics の両方でオフライン状態であり、送信電力がないこと	Pass
	2		rApp 最適化前に Cell#2 がオンライン	Cell#2 がコマンドラインと LiteNetics の両方でオンライン状態であり、一定の送信電力でサービスを提供していること	Pass
	3		rApp 最適化前に Cell#3 がオンライン	Cell#3 がコマンドラインと LiteNetics の両方でオンライン状態であり、一定の送信電力でサービスを提供していること	Pass
	4		UE は Cell に未接続	Cell および UE の両方で UE の未接続状態を確認できること	Pass
C	1	08:10 AM	CCO の計算	rApp がフィールド最適化から一定の計算結果を出力できること。	Pass
	2		CCO の計算結果を適用	計算結果が管理対象 Cell に適用できること。	Pass
	3		CCMO の自動計算	rApp がフィールド最適化から一定の計算結果を自動で算出するか、その計算ログを生成できること。	Pass
	4		CCMO の自動計算結果を適	自動計算された結果が管理対象 Cell	Pass

			用	に適用できること。	
	5		UE は Cell に接続中	Cell および UE の両方で UE の接続状態を確認できること。	Pass
D	1	08:20 AM	rApp 最適化後に Cell#1 がオンライン	Cell#1 がコマンドラインと LiteNetics の両方でオンライン状態であり、一定の送信電力でサービスを提供していることを確認する。	Pass
	2		rApp 最適化後に Cell#2 がオンライン	Cell#2 がコマンドラインと LiteNetics の両方でオンライン状態であり、一定の送信電力でサービスを提供していることを確認する。	Pass
	3		rApp 最適化後に Cell#3 がオンライン	Cell#3 がコマンドラインと LiteNetics の両方でオンライン状態であり、一定の送信電力でサービスを提供していることを確認する。	Pass
	4		UE は Cell に接続中	Cell および UE の両方で UE の接続状態を確認できること。	Pass

4.2. xApp によるリソースブロック (RB) 最適化を活用したロー

カル 5 G 干渉軽減試験

本試験は工場、物流倉庫、屋外設備などの広域エリアにおけるローカル 5 G 利用を想定し、周波数干渉の環境下においても通信品質の維持を目的とする。

日本では sub6 帯におけるローカル 5 G 共用条件として、屋外環境では 4.80~4.90 GHz の単一チャンネルのみ利用することが制度化されている。単一チャンネルでの運用における課題として、周囲に隣接する基地局が存在する場合、同一周波数の電波が共存するエリアでは周波数干渉が生じる。これにより、受信品質が悪化するためスループットの低下など通信品質の悪化を引き起こすことが考えられる。

上記課題に対し、周波数干渉を低減する手法として以下の例が挙げられる。

- ① 周波数分割による運用
 - ② 空間分割による運用
 - ③ 時分割による運用
- ① 周波数分割による運用とは、屋外利用において制度化されている 100MHz 幅において、複数の周波数帯に分割する手法である。具体例として 4.80~4.85 GHz の前半と 4.85~4.90 GHz の後半と 2 分割することで利用周波数の重複を回避し、周波数干渉を低減する方法となる。しかし、本手法の実現には RAN および UE とも周波数分割の機能を有する必要があるため、市中製品において対応されている事例は非常に少ない。
- ② 空間分割による運用とは、ローカル 5 G の電波到達範囲を重複しないようエリア設計する手法である。エリア設計においては、あらかじめエリアシミュレーションを実施することが一般的であるが、置局数が多くなることに比例してエリア設計の難易度が高くなり専門的なスキルおよび知見が必要となる。
- ③ 時分割による運用とは、規定されている下りおよび上りの TDD フレーム構成の枠内におけるスケジューリングを調整する手法である。このスケジューリング調整には RB 配分を制御することで実現することができる。

既存の干渉軽減手法としては、Fractional Frequency Reuse (FFR) や Enhanced Inter-Cell Interference Coordination (eICIC) といった方式が広く用いられている。FFR は、利用する周波数帯をあらかじめ複数に分割し、周波数干渉が発生しないエリア (Cell-Center) と周波数干渉が発生するエリア (Cell-Edge) に分類することで、周波数の使い分けにより干渉を抑制するアプローチである。一方、eICIC は、ABS (Almost Blank Subframe) など事前に定義されたパターンを用いて、時間領域で基地局の送信を調整することで干渉を低減する手法である。しかし、これら従来の手法はいずれも準静的 (semi-static) な制御に基づいており、事前に設定されたリソース割り当てポリシーに

依存する。そのため、周囲の干渉状況が短時間で大きく変化する環境では、十分に対応しきれないという課題がある。

これに対し、本試験では、UE の相対的な位置情報をもとに、時間領域および周波数領域の双方を動的に調整できるリソース割り当て機構を採用した。さらに Near-RT RIC を活用することで、電波干渉の状況をリアルタイムに監視しつつ、RB の割り当てをクローズドループで継続的に最適化する仕組みを実現している。このアプローチにより、干渉が激しく不安定な環境下であっても、スループットなどの主要な通信性能を維持しながら、より効果的に干渉を抑制できることを目的としている。

4.2.1. 試験構成

本試験を実施するための構成を、図 4-4 に示す。

ローカル 5G システム、Near-RT RIC、20 台の UE で構成されており、20 台の UE は Cell#1 エリア、Cell#2 エリア、周波数干渉エリアに配置する。

周波数干渉が発生するエリアに配置した UE を”Edge UE”、干渉が発生しないエリアに配置した UE を”Center UE”と呼称する。

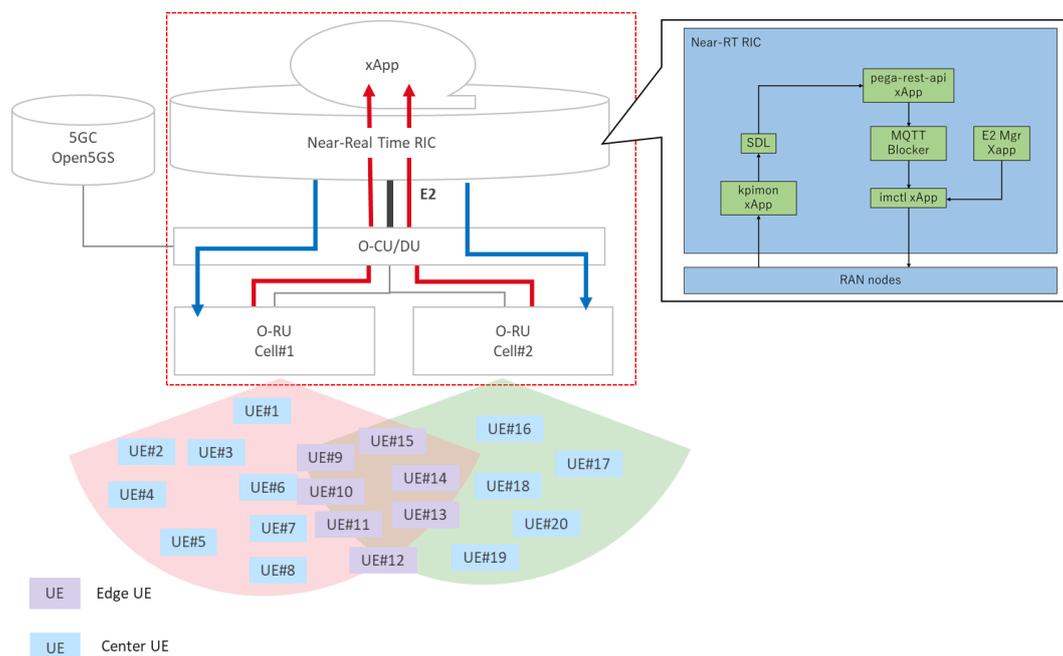


図 4-4 xApp 試験構成

表 4-8 コンポーネント説明

コンポーネント	接続先	役割	用途
Near-RT RIC	基地局 (O-CU/O-DU)	リアルタイムに近い制御・最適化を行う	無線リソース管理、干渉制御を行う

xApp	Near-RT RIC	RIC 上で動作するアプリケーション	無線リソース管理、干渉制御、ハンドオーバー支援などを行う
E2 Interface	Near-RT RIC と 基地局 (O-CU/O-DU)	リアルタイムの情報収集と制御指示の送受信を行う	無線リソース管理、干渉制御、ハンドオーバー支援などを行う

4.2.2. 試験機器一覧

本試験で使用した機器を表 4-9 に示す。

表 4-9 xApp 試験で使用した機器品名

ベンダー	区分
Pegatron	RAN
Open 5 GS	5GC
ITRI	Near-RT RIC
Pegatron、Others	UE
NTT 東日本	xApp

4.2.3. 試験項目

RIC の統合試験と性能評価を実施した。試験項目を表 4-10 に示す。統合試験は O-RAN.WG3.E2TS-R003-v02.00 [8] に準拠する。

表 4-10 xApp 試験項目

No	試験	試験観点	
1	統合試験	E2 Setup Procedure	E2 セットアッププロシージャが O-RAN 既定の通り完了できること
2		RIC Subscription	サブスクライブ手順が正常に完了すること
3		RIC Indication	インディケーションメッセージを正しく取得できること
4		RIC Control	コントロールメッセージを E2 ノードに送信できること
5	性能評価	スループット測定	複数パターンのシナリオを作成し、スループット測定を実施

4.2.4. 試験シナリオ

xApp の試験イメージを図 4-5、xApp のアーキテクチャを図 4-6 に示す。試験はシナリオ A, B, C の 3 種類を実施する。

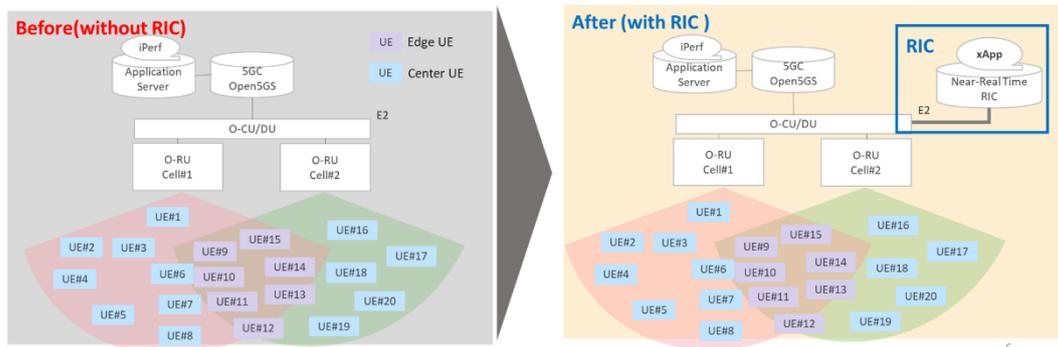


図 4-5 xApp 試験イメージ

- シナリオ A (Edge UE < Center UE)
Edge UE : 7 台, Center UE : 13 台の組み合わせで、RIC の利用有無の両方でスループット測定を実施し、測定結果を比較する。
- シナリオ B (Edge UE = Center UE)
Edge UE : 10 台, Center UE : 10 台の組み合わせで、RIC の利用有無の両方でスループット測定を実施し、測定結果を比較する。
- シナリオ C (Edge UE > Center UE)
Edge UE : 13 台, Center UE : 7 台の組み合わせで、RIC の利用有無の両方でスループット測定を実施し、測定結果を比較する。

各シナリオにおいて、RIC 「有」 の場合、xApp は以下のステップを実行する。

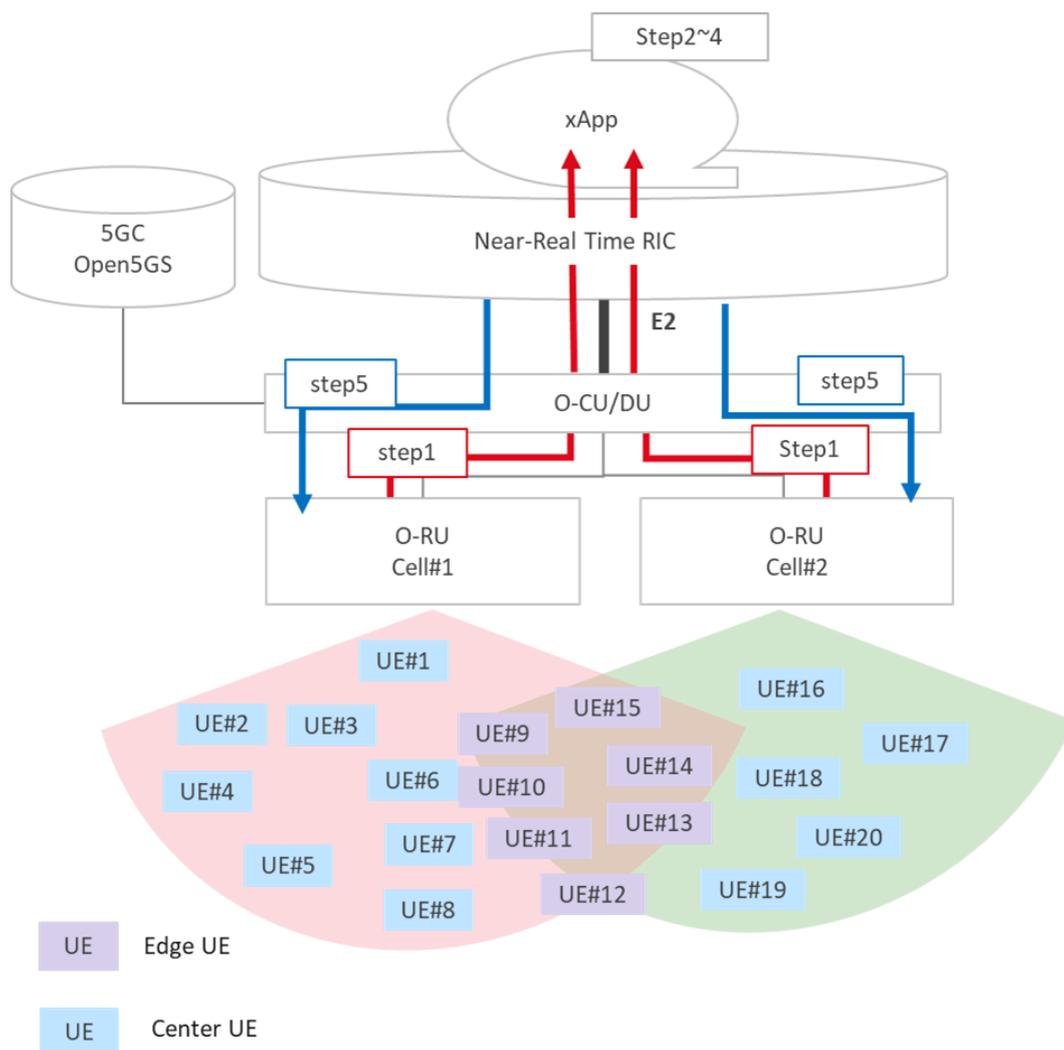


図 4-6 xApp アーキテクチャ

- Step 1
E2 Interface を介して RIC から全ての UE 情報を秒単位の粒度で取得する。
- Step 2.
各 UE が Cell-Edge に位置しているか、Cell-Center 内にいるかを判定する。
- Step 3.
現在の RB 利用状況を監視する。
- Step 4.
RB 割り当て前に全 UE の SINR およびスループットを評価する。
- Step 5.
評価結果に基づき性能最適化のため、RAN (O-CU/DU/RU) へ制御メッセージを送信し、UE への RB 再割り当てを行う

4.2.5. 試験結果と考察

4.2.5.1. 統合試験結果

統合試験の実施結果を表 4-11 に示す。統合試験は O-RAN.WG3.E2TS-R003-v02.00 に準拠している。

また、試験結果から Near-RT RIC と O-RAN ノード間のインターフェースが、O-RAN.WG3.E2AP-02.00 [9]および O-RAN.WG3.E2SM-KPM v01.00 [10]で規定された E2 Interface に準拠していることを確認した。

表 4-11 xApp 統合試験結果

No	試験	試験観点	試験結果	Pass/Fail	O-RAN.WG3.E2TS-R003-v02.00
1	統合試験	E2 Setup Procedure	E2 Setup が正しく完了すること	Pass	5.2.1.1.1
2		RIC Subscription	サブスクリプションが正常に完了すること	Pass	5.2.2.1.1
3		RIC Indication	インディケーションメッセージを取得できること	Pass	5.2.2.4.1
4		RIC Control	コントロールメッセージを E2 ノードに送信できること	Pass	5.2.2.5.1

4.2.5.2. 性能評価結果と考察

性能試験結果を図 4-7 と図 4-8 に示す。図 4-7 は Edge UE のみのスループット測定結果、図 4-8 は Edge UE、Center UE 全体のスループット測定結果である。

図 4-7 より、RIC 接続後におけるシナリオ A (Edge UE < Center UE)では、121.74%、シナリオ B (Edge UE = Center UE)では 210.16%、シナリオ C (Edge UE > Center UE)では 162%のスループット向上を確認した。

図 4-8 より、シナリオ B およびシナリオ C における RIC 接続後の合計スループットは RIC 接続前よりも改善が確認できた。一方、シナリオ A において RIC 接続後の合計スループットは RIC 接続前よりも低下した。これは Center UE から Edge UE への RB 配分が最適化されていないことが原因であり、Center UE の数が多いシナリオ A において顕著となったことが考えられる。

今後の展望として、Edge UE、Center UE の判断ロジックを改良し、RIC 接続 ON/OFF の自動制御を追加するなど干渉環境が複雑化した場合の制御精度向上を目指す。また静止端末だけではなく動的端末への適応に向けた試験を予定している。

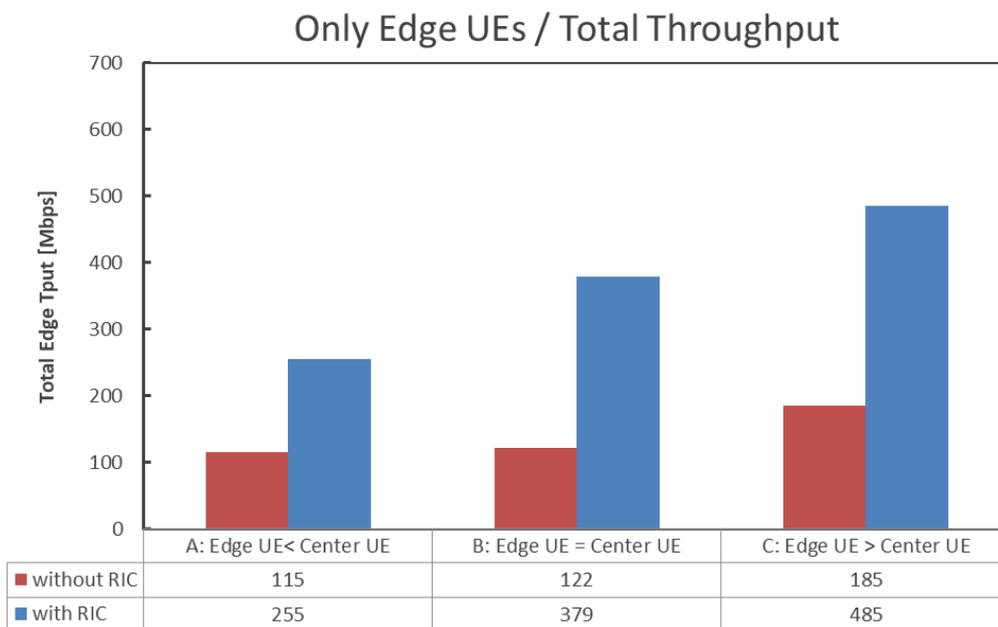


図 4-7 xApp 性能評価結果 (Edge UE のみ)

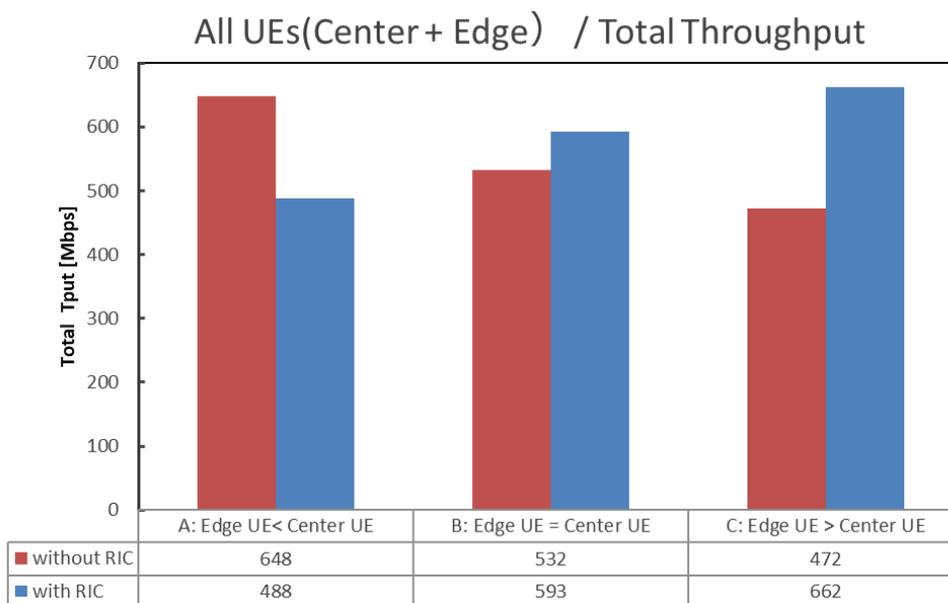


図 4-8 xApp 性能評価結果 (すべての UE)

5. テーマ3 (ローカル5G利用環境のセキュリティ対策強化)

5.1. セキュリティ試験

5.1.1. 試験構成

本試験の試験構成を図 5-1 に示す。本試験では市中のセキュリティソリューションとしてトレンドマイクロ社およびCTOne社が提供する Trend Micro Mobile Network Security (以下: TMMNS)を使用する。

TMMNS の仕様から、RAN 機器の違いによる動作差分は発生しない前提に置き、5GCと UE の組み合わせによる接続試験を実施する。UE には TMMNS との連携のため専用のセキュリティ機能を具備する SIM カードを搭載する。

RAN と UE はシールドボックスもしくはシールドテント内に配備する。テーマ1接続試験時と同様に、環境差分による試験結果影響を抑えるため、UE の RSRP 値が約-70dBm となるように RAN の出力値や UE の設置場所を調整した。シールドボックスとシールドテントは表 3-2 に示す情報と同様のため本項では割愛する。

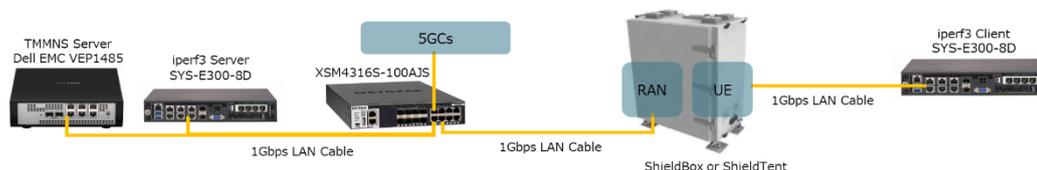


図 5-1 セキュリティ試験構成

5.1.2. 試験機器一覧

本試験の試験機器品名および試験機器仕様については、表 3-3 に示す情報と同様のため本項では割愛する。

5.1.3. 試験項目

本試験項目を表 5-1 に示す。TMMNS の基本動作試験とセキュリティ脅威シナリオ試験を実施する。デバイスがウイルス等に感染した場合や、SIM が悪意を持って差し替えられた場合などのセキュリティ脅威を想定し、それらセキュリティ脅威に対する検知機能や隔離機能の動作を確認する。

表 5-1 セキュリティ試験項目

No	試験	試験観点
1	基本動作確認試験	UE 表示可否確認 UE 在圏後、TMMNS にその UE の IMEI と SIM カードの IMSI が表示されることを確認する。
2		UE 制御可否確認 TMMNS サーバから UE に対して切断信号を手動送信し、UE が強制切断することを確認する。
3		UE 情報更新間隔確認 UE から TMMNS サーバに対して情報更新信号が送信されていることおよび、その送信間隔を確認する。
4		トラフィック量表示確認 TMMNS サーバの管理画面に試験対象 UE の通信トラフィック量が表示されることを確認する。
5	セキュリティ脅威シナリオ試験	不正アクセス防御 試験シナリオを実施することで、不正アクセスを検知し試験対象 UE が TMMNS により強制切断することを確認する。
6		SIM スワップ防御 試験シナリオを実施することで、SIM スワップを検知し試験対象 UE が TMMNS により強制切断することを確認する。

5.1.4. セキュリティ脅威シナリオ

5.1.4.1. 不正アクセス防御テストシナリオ

セキュリティ脅威シナリオ試験の内、不正アクセス防御テストシナリオを図 5-2 に示す。本テストシナリオで、ローカル 5 G ネットワークにおける不正アクセス発生時の防御動作を確認する。具体的なシナリオは以下の通り。

- ① nmap(ポートスキャンツール)を使用して、不正アクセスを想定した疑似通信を UE から N6 設置の PC 宛てに送信する。
- ② TMMNS サーバは不正なアクセスを検知し、切断信号を UE に送信する。
- ③ UE は強制切断され、以降のデータ通信は不可となる。

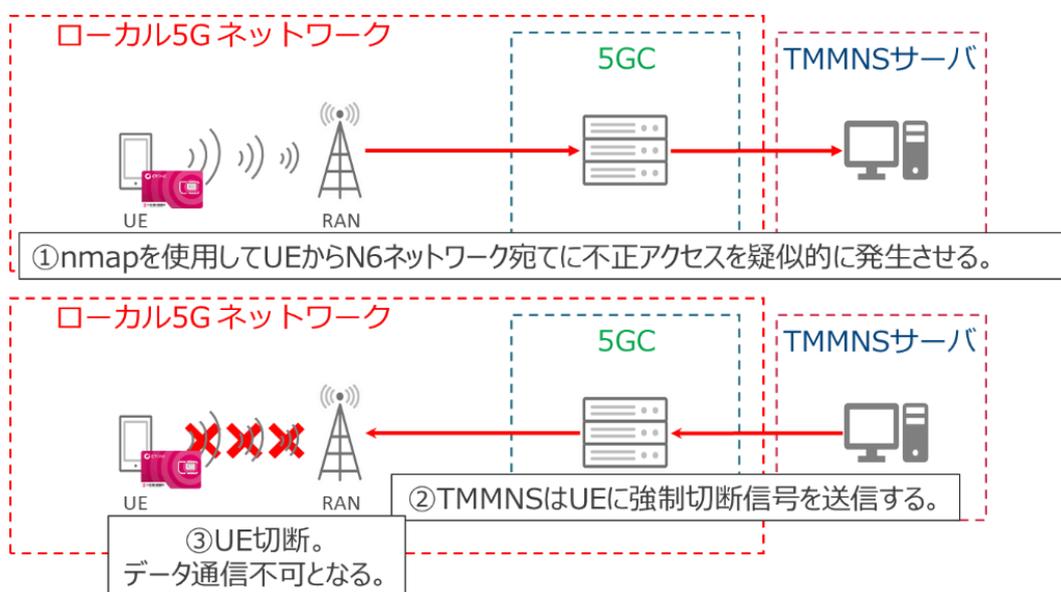


図 5-2 不正アクセス防御テストシナリオ

5.1.4.2. SIM スワップ防御テストシナリオ

セキュリティ脅威シナリオ試験の内、SIM スワップ防御テストシナリオを図 5-3 に示す。本テストシナリオで、ローカル 5 G における SIM スワップ発生時の防御動作を確認する。具体的なシナリオは以下の通り。

- ① UE(A)に挿入されている SIM カードを UE(B)に挿入する。
- ② TMMNS サーバは SIM スワップを検知し、切断信号を UE(B)に送信する。
- ③ UE(B)は強制切断され、以降のデータ通信は不可となる。

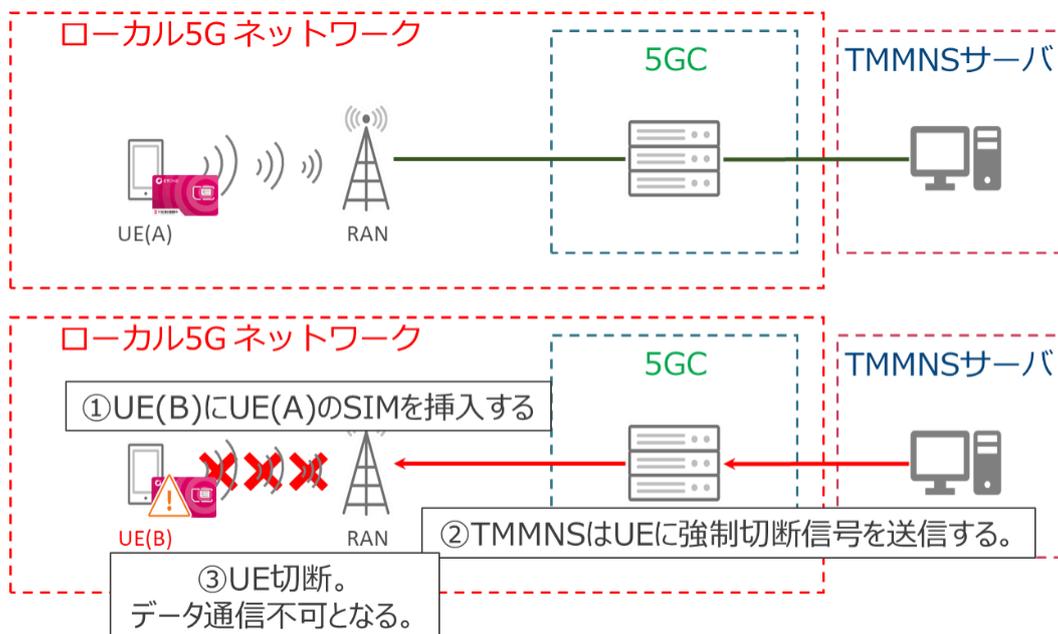


図 5-3 SIM スワップ防御テストシナリオ

5.1.5. 試験結果と考察

2025年2月現在完了した全44組み合わせの結果を表5-2に示す。図5-4の通り40組み合わせ、割合にして約9割でTMMNSは正常動作したが、表5-3の通り特定の1機種のみTMMNS管理画面にUE情報が表示されず試験NGとなった。解析の結果UE側にてTMMNSとの連携に必要な機能がソフトウェアレベルで無効化されていることが原因であった。現在当該UEでは動作改善を検討中である。

表 5-2 セキュリティ試験結果

5GC	基本動作確認試験	セキュリティ脅威シナリオ試験
HPE	pass(10) Retest Required(1)	pass(10) Retest Required(1)
NTT テクノ ロス	pass(10) Retest Required(1)	pass(10) Retest Required(1)
Saviah	pass(10) Retest Required(1)	pass(10) Retest Required(1)
QCT	pass(10) Retest Required(1)	pass(10) Retest Required(1)

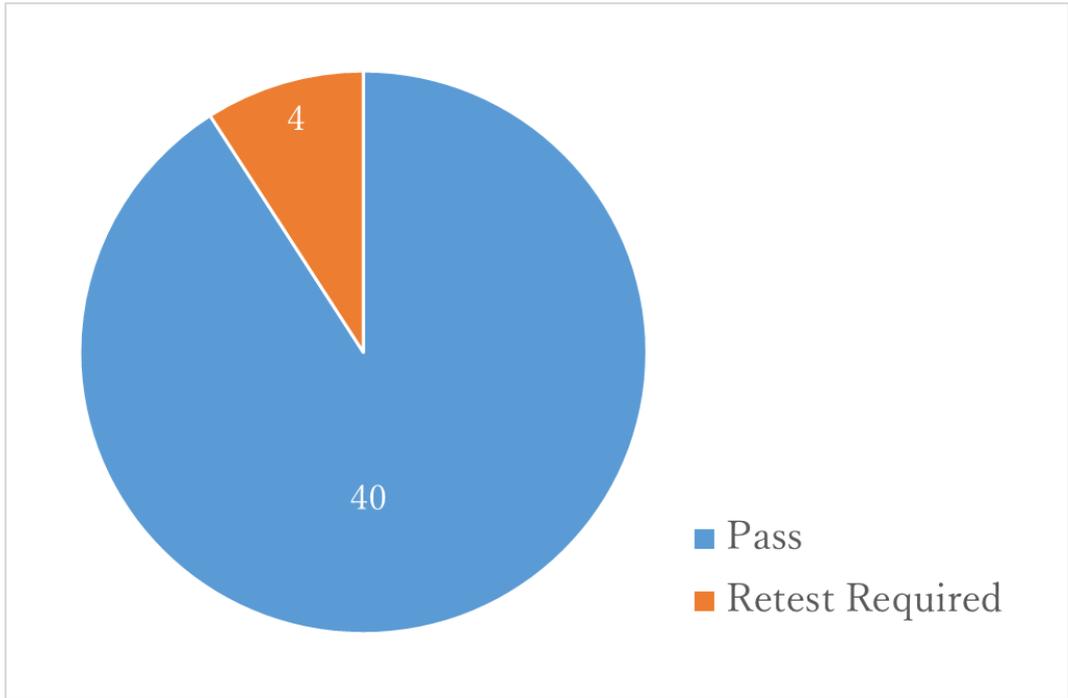


図 5-4 セキュリティ試験結果

表 5-3 セキュリティ試験実施不可事象

対応状況	発生件数 (4件)	事象
未解決	4件	特定の UE が TMMNS 管理画面に表示できない事象

5.1.6. TMMNS 接続において遵守すべき留意点

接続不可事例を通して得られた TMMNS 接続における遵守すべき留意点を表 5-4 に示す

表 5-4 TMMNS 接続において遵守すべき留意点

対象機器			遵守すべき留意点
TMMNS	5GC	UE	
✓	-	✓	TMMNS との連携のため、専用のセキュリティ機能(アプレット)を具備する SIM カードを UE に搭載する必要がある。TMMNS 接続時は SIM カードのアプレットに対応する UE を使用すること。

6. 参加企業各社からのフィードバック

本章では、参加企業各社から寄せられたフィードバックを掲載する。

6.1. テーマ1のフィードバック

テーマ1の相互接続検証について、各社からのフィードバックを図6-1に示す。本プロジェクトのテーマ1に参画した企業の多数から「ローカル5G事業に好影響があった」と回答をいただいた。

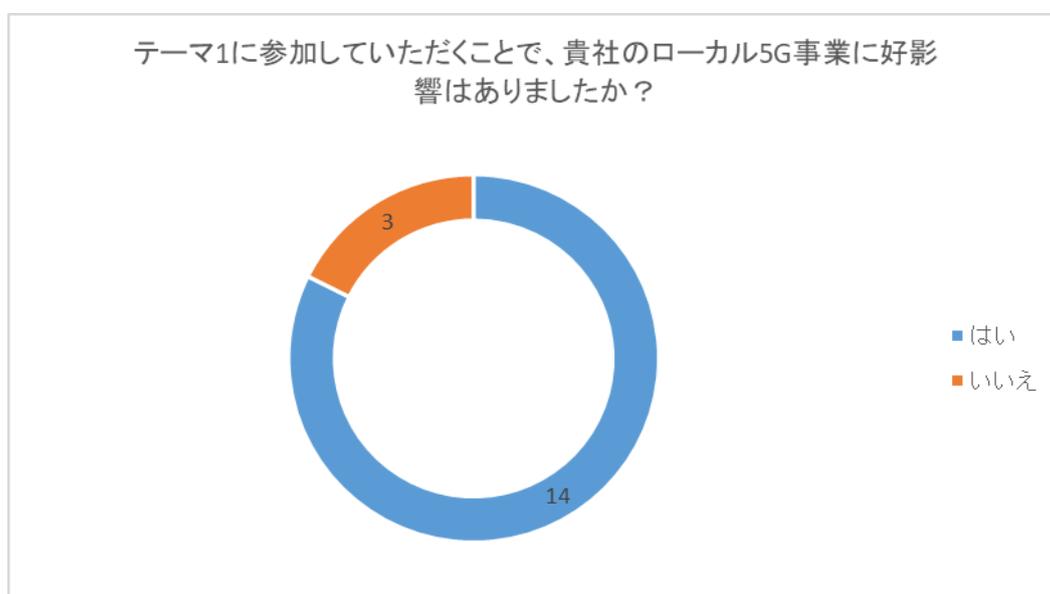


図6-1 ローカル5G事業に好影響があったかの各社回答(テーマ1)

好影響であった点を図6-2に示す。

「はい」と回答いただいた企業の内、「他企業との連携・交流」が一番多く、「接続実績の獲得」、「社内での活用」、「新たな知見やユースケースの獲得」、「新規製品・サービスへの応用」と続いた。なお、「いいえ」と回答いただいた企業においては、「残念ながら新規顧客の獲得に至らなかった」、「L5G共創プロジェクトはローカル5Gのマルチベンダー化推進への第一歩であるため、これからの市場の変化に期待する」といった回答が寄せられた。

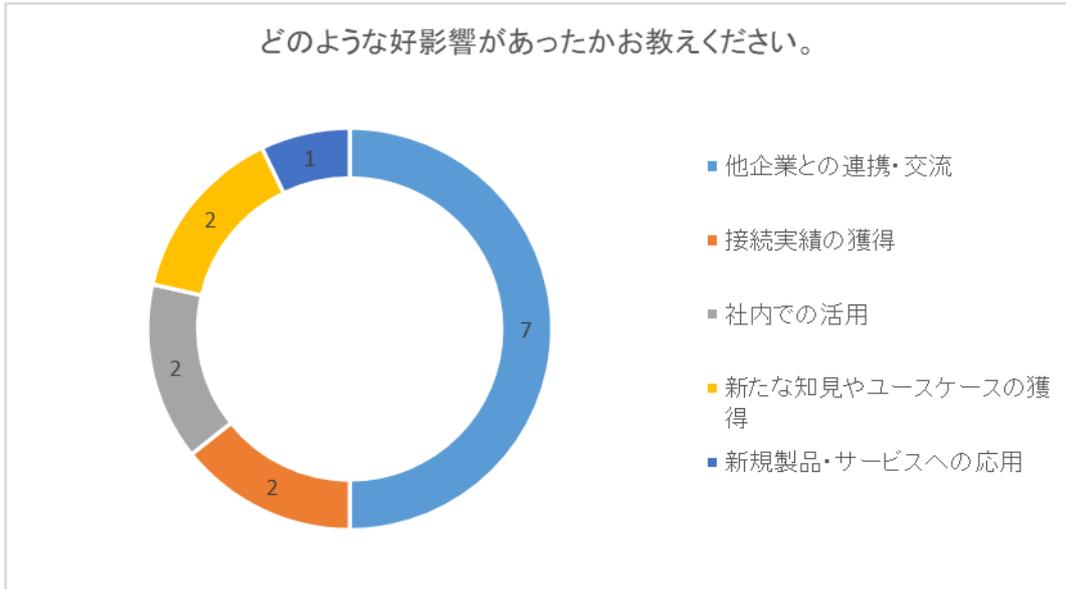


図 6-2 好影響についての内訳(テーマ 1)

6.2. テーマ 2 のフィードバック

テーマ 2 のローカル 5 G 機器のパラメーター最適化について、テーマ 2 参加企業各社からのフィードバックを図 6-3 に示す。参画した企業の多数から「ローカル 5 G 事業に好影響があった」と回答をいただいた。

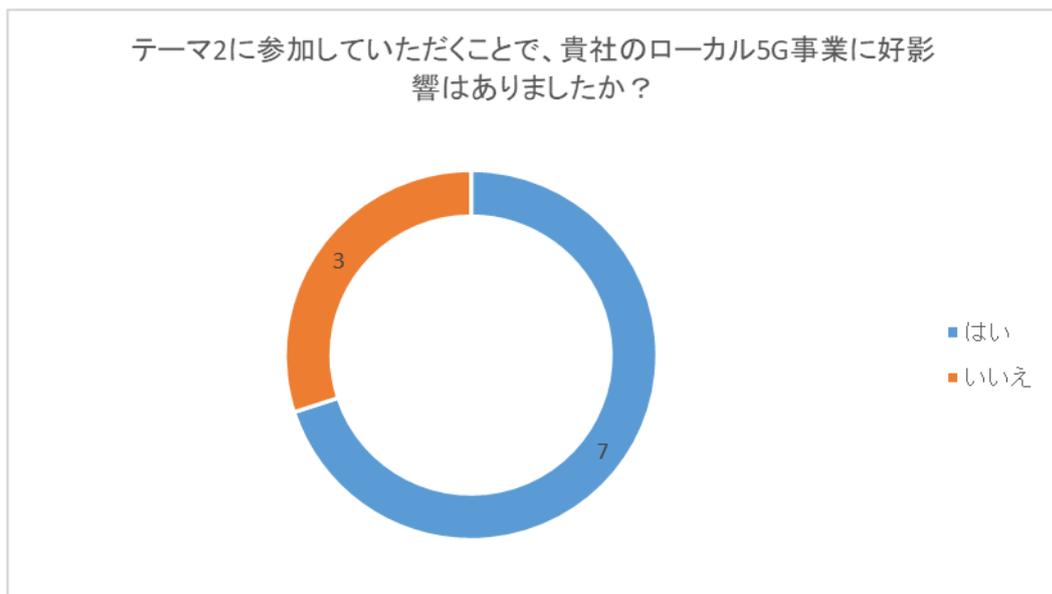


図 6-3 ローカル 5 G 事業に好影響があったかの各社回答(テーマ 2)

どのような点が好影響であったかを図 6-4 に示す。

「はい」と回答いただいた企業の内、多くの企業が「他企業との連携・交流」と回答し、「新規製品、サービスへの応用」、「新たな知見やユースケースの獲得」、「製品と会社の知名度向上」と続いた。また、「試験と O-RAN PlugFest への出展で RIC やアプリケーションの有効性を客観的に示すことができた」という回答も寄せられた。「いいえ」と回答いただいた企業からは、「現時点では事業化に結び付けることは困難」、「RIC 技術の事業化は黎明期であることから、より多くの企業が RIC 技術に関心を持ち活動し結果を出すことで市場形成を進めていく必要がある」と回答が寄せられた。

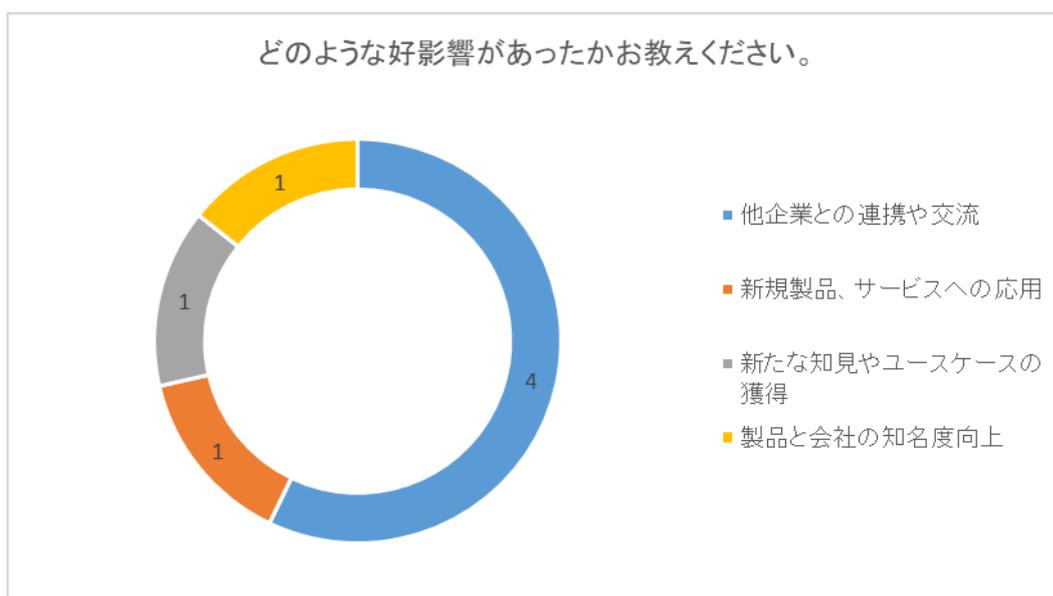


図 6-4 好影響についての内訳(テーマ 2)

L5 G共創プロジェクトのテーマ 2 に参画していない企業向けに、RIC 事業への参入意欲についてアンケートした結果を、図 6-5 に示す。

具体的な事業化を予定している企業は少なかったものの、RIC への関心を抱いている企業は多くみられる結果となり、以下のコメントが寄せられた。

- 自社製品を統合した形での RIC 利用を今後検討したい。
- ネットワーク運用自動化の需要が高まることを予想している。
- RIC の、RAN の高度な最適化や自動化を可能にする技術には魅力を感じている。ただし、市場における RIC 技術の成熟が必要と考える。
- RIC 技術を研究している企業とより関わっていきたい。

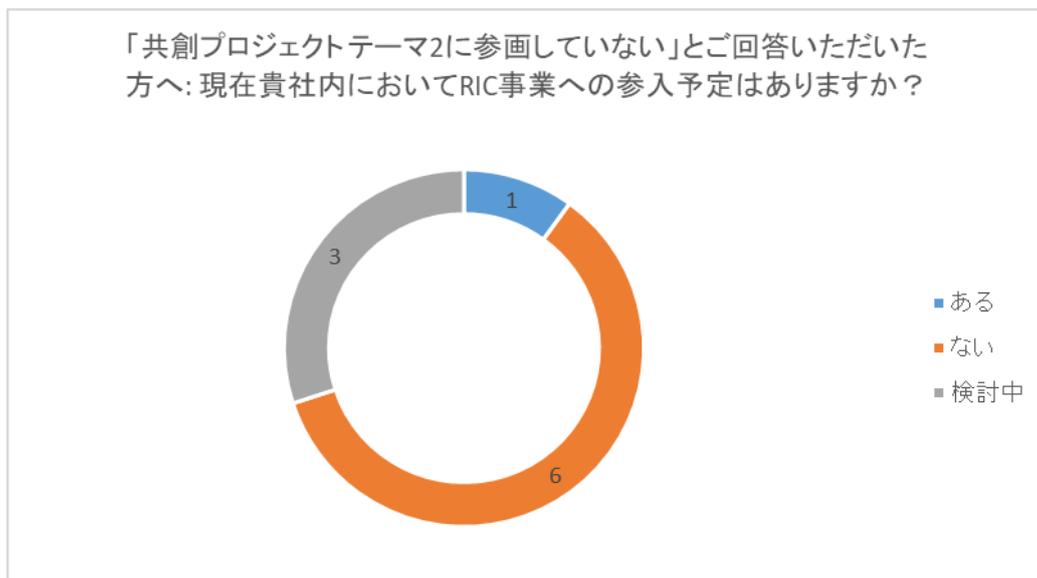


図 6-5 テーマ 2 未参加企業の RIC への参入意欲

6.3. テーマ 3 のフィードバック

テーマ 3 のローカル 5 G 利用環境のセキュリティ対策について、各社からのフィードバックを図 6-6 に示す。試験におけるテストシナリオについて、「不正アクセス防御テストシナリオ」が多く関心が寄せられ、次点で「SIM スワップ防御シナリオ」となった。

各社セキュリティ対策への意識が高く、選定理由として寄せられたコメントを紹介する。なお、類似した回答については統合している。

- SIM スワップ防御テストシナリオの選定理由
 - 今後 eSIM の普及に伴い需要が高まるから。
 - SIM の盗難や紛失による不正利用防止が重要であるから。
 - ローカル 5 G 環境では、特定の端末のネットワーク接続を SIM で厳密に管理しているため、SIM スワップ攻撃への対策がネットワーク全体の安全性確保に直結するから。
 - 取り扱う製品から、このシナリオが重要ととらえたから。
- 不正アクセス防御テストシナリオの選定理由
 - より高セキュリティを謳うことができるから。
 - 不正アクセスは脅威であり、対策は必須と考えるから。
 - ローカル 5 G に限らず、ネットワークセキュリティは世界的にも課題になっているから。
 - 不正アクセスは実際の運用環境でも発生しやすく、サービス全体の安全性や信頼性に直結するため、その防御シナリオの試験には特に関心を持った。

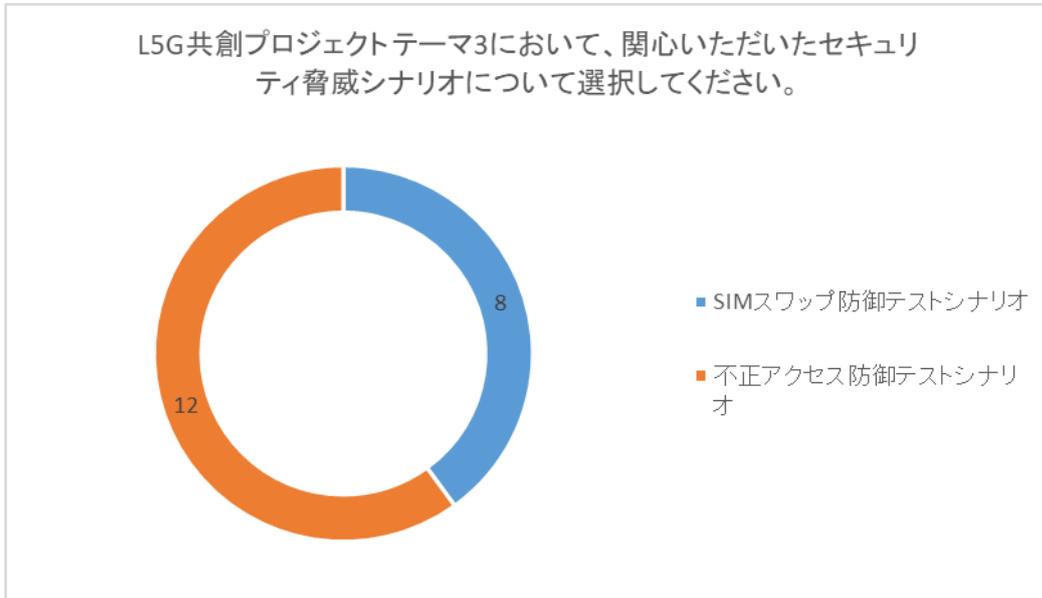


図 6-6 参加企業各社が関心を持ったセキュリティ防御シナリオ

また、参加企業独自のセキュリティ向上への取り組みについてのアンケートした結果を、図 6-7 に示す。「ある」と回答した企業においては、独自でのセキュリティ試験の実施や、セキュリティ系ベンダーとの共同試験、5GC における認証と通信保護強化のために暗号化対応を行っているといったコメントが寄せられた。

「ない」と回答した企業においても、テーマ 3 試験を通じて新たな発見があった等のコメントがあり、本試験は非常に有意義なものであったと考える。

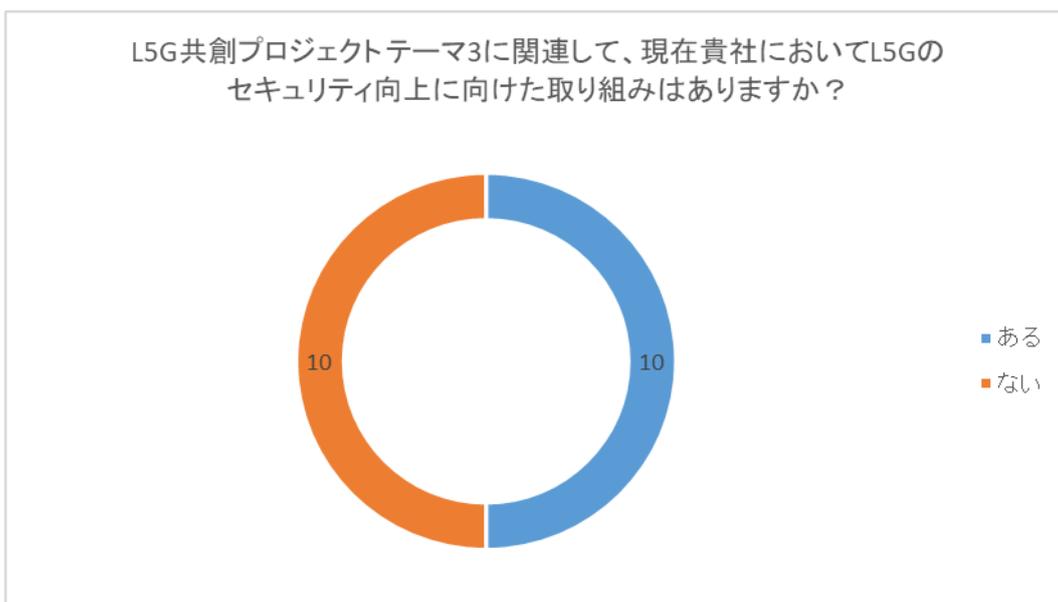


図 6-7 プロジェクト参加企業独自のセキュリティ向上への取り組み

6.4. 全体のフィードバック

本プロジェクト全体のフィードバックを図 6-8 に示す。本プロジェクトの参加企業の多くが、「本プロジェクト参画が有益だった」と回答した。テーマ 1、テーマ 2 で「他企業との連携・交流が各社事業への好影響」と回答があった通り、多くの企業からプロジェクトを通じて「新たな共同パートナーの獲得に寄与できた」とコメントが寄せられた。

- 多くのベンダー様との相互接続検証は通常は行う機会がなく、各社との実績作りや交流ができて、とても良い活動だった。
- 技術検討に加え、他企業様との交流や情報共有を通じて多くの知見を得ることができ、ビジネス機会の拡大や日本市場での認知度向上にもつながった。そのため、非常に有益なプロジェクトであったと感じている。
- 他企業との交流を通じて新たな協力関係を築く機会が得られたことも大きな成果だと感じている。
- 日本国内におけるローカル 5 G 利用者のニーズや市場動向を把握する上で貴重な情報を得ることができ、今後の事業方針を検討する上でも参考になった。本プロジェクトで得られた知見は、当社内部の技術蓄積としても大いに役立った。
- L 5 G 用のバンドで他社機器との接続性を確認できたことが有益であった。
- 自社製品のアピールの場を得ることができた。
- 無事に試験を完了することができ、RIC の有効性についても一定の理解を皆様にお伝えできたのではないかと考えている。
- このプロジェクトを通して、当社のエンジニアチームは日本での PlugFest に関する知見と経験を得ることができた。エンジニアを現地に派遣して確認を行うだけでなく、迅速な対応と分析で試験をリモートサポートすることができた。
- ローカル 5 G や O-RAN など単独では取り組めない活動や情報を、プロジェクトを通じて得ることができ有益だった。
- 複数のパートナーと、さまざまなシナリオで協働する貴重な機会を得ることができた。
- 複数ベンダーが参加する注目度の高い環境に参画することで、当社技術の安定性と性能を業界全体に広くアピールすることができた。
- 多様な UE および 5GC 構成との E2E 相互接続検証を成功裏に実施することで、当社がさまざまな業界プレイヤーとの高い互換性を有していることを証明できた。

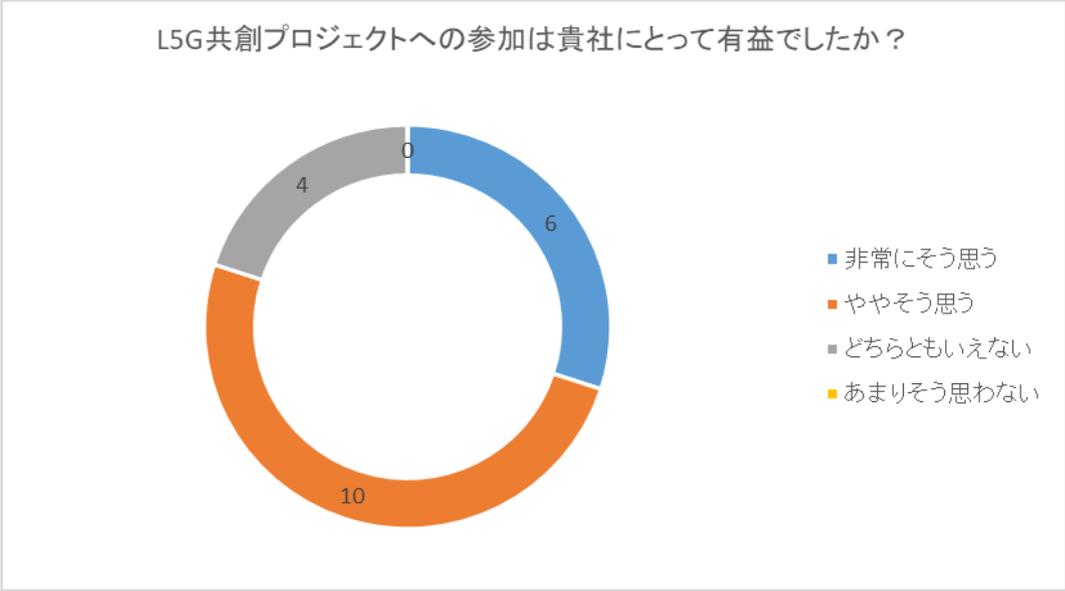


図 6-8 L5G 共創プロジェクト全体の感想

7. おわりに

本プロジェクトでは 3 つのテーマに沿って各社が共同で試験を進めており、本レポートでは、テーマ 1 としてローカル 5 G 機器間の相互接続検証、テーマ 2 としてローカル 5 G マルチベンダー構成での RIC 試験、テーマ 3 としてローカル 5 G 利用環境のセキュリティ対策強化試験の成果をそれぞれ公開した。

テーマ 1 では、ベンダー間の垣根を越えた市中製品の相互接続が成功している組み合わせや、接続時の留意点、さらにスループットや 4K 映像伝送時の遅延といった性能結果を公開した。これにより、「相互接続ができない」「パフォーマンスが出ない」といった市場のネガティブなイメージが払拭されることを期待している。

テーマ 2 では、ローカル 5 G 機器間のマルチベンダー接続に加え、RIC 上で動作する xApp および rApp を適用することで、パラメーターの自動制御や通信性能の向上が可能であることを示す試験結果を公開した。これにより、ローカル 5 G 機器に対する RIC の有効性を市場に提示し、RIC 対応製品のさらなる拡大につながることを期待している。

テーマ 3 では、市中のセキュリティソリューションを活用し、異なるローカル 5 G 機器利用環境においても、セキュリティ SIM カードとネットワークセキュリティ機能の連携により、セキュリティ対策の強化が可能であることを示す試験結果を公開した。これにより、ローカル 5 G 環境における安心・安全な運用の実現と、セキュリティソリューションの更なる普及が進むことを期待している。

本レポートを活用することで、異なるベンダー機器構成におけるインテグレーションコストの抑制が期待でき、ユースケースに応じた機器選択の幅が広がると考えている。また、本レポートをもって本プロジェクトは終了する。これからも本プロジェクト参加企とのつながりや得られた知見を基盤として、ローカル 5 G の社会実装を加速させるとともに、将来的に次世代通信である 6G や複数無線プロトコルを複合したネットワーク構築の実現といった新たな技術領域での共創をさらに推進し、産業 DX の促進や社会課題の解決に向けた取り組みを継続していく所存である。

本プロジェクトに参画いただいた皆さまに深く感謝するとともに、本レポートを読まれた方からご意見やご感想をいただければ幸いである。

8. 参考文献

- [1] 3GPP TS23.501 : “System architecture for the 5 G System (5 GS)”
- [2] 3GPP TS23.502 : “Procedures for the 5 G System (5 GS)”
- [3] 3GPP TS38.331 : “NR;Radio Resource Control(RRC) Protocol specification”
- [4] 3GPP TS24.501 : “Non-Access-Stratum (NAS) protocol for 5 G System (5 GS)”
- [5] ITU-R M.2135-1 : "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced"
- [6] O-RAN O1 Interface Specification 13.0 : "O-RAN.WG10.O1-Interface.0-R003-v13.00"
- [7] O-RAN R1 interface: Application Protocols for R1 Services 4.0 : "O-RAN.WG2.R1AP-v04.00"
- [8] O-RAN E2 Interface Test Specification 2.0 : "O-RAN.WG3.E2TS-R003-v02.00"
- [9] O-RAN Near-Real-time RAN Intelligent Controller, E2 Application Protocol (E2AP) 2.0 : "O-RAN.WG3.E2AP-v02.00"
- [10] O-RAN Near-Real-time RAN Intelligent Controller E2 Service Model (E2SM) KPM 1.0 : ORAN-WG3.E2SM-KPM-v01.00